

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbure

Option : Génie mécanique-Mécanique des unités pétrochimiques

Présenté par :

KHELIL Adel

LEDRA Zakaria

THEME

**Récupération des gaz par un compresseur des gaz évaporés au niveau
du bac de GPL.**

Soutenu publiquement le 12 / 06 / 2024

Devant le jury :

	Nom et Prénom	Grade	Université/Affiliation
Président de jury	YAHY Fatma	MCB	UMBB
Examinateur	HARKAT Yamina	MAA	UMBB
Examinateur	TALAMALI Anissa	MAA	UMBB
Encadreur	KHELIFI-Touhami M.S	MCA	UMBB

Boumerdes 2024



Remerciements :

En premier lieu, nous tenons à remercier DIEU notre créateur, pour nos avoir donné la force d'accomplir ce travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadreur, KHELIFI-Touhami M.S, pour sa compréhension, sa patience, ses remarques précieuses et son soutien dans des moments très difficiles.

Nos plus sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de transport et équipements des hydrocarbures qui nous ont aidés, conseillés et guidés afin de finaliser ce mémoire dans de bonnes conditions.

Nous n'oublions pas de remercier l'ensemble du personnel du complexe de liquéfaction de gaz naturel GP2/Z de BETHIOUA pour leurs encouragements et leur chaleureux accueil.

Ainsi qu'à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Nous remercions également les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.



Dédicace :

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents qui m'ont aimé depuis le jour où j'ai ouvert les yeux, qui m'ont soutenu durant mes années d'études, voici le fruit de vos prières, sacrifices et soutiens.

A mes chers frères, mes remerciements pour l'amour et la tendresse que vous m'avez donné.

A toute ma famille, je tiens à vous exprimer mon amour et ma tendresse.

A mes très chers amies et collègues de promotion qui comptent beaucoup dans ma vie.

A tous mes enseignants qui méritent beaucoup de respect et considération.

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail ; que Dieu vous bénisse

LEDRA Zakaria & KHELIL Adel



Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Table des matières	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des symboles et abréviations	iv
Introduction générale	1

Partie 1 : Etude théorique.

Chapitre I : Généralités sur le gaz de pétrole liquéfié.

I.1-Introduction	3
I.2-Définition de GPL	3
I.3-Origine de GPL	3
I.3.1-Fractions lourdes de l'extraction de gaz naturel	3
I.3.2-Fractions légères du raffinage du pétrole	3
I.3.3-GPL en Algérie	4
I.4-composition et classes de GPL	4
I.4.1-Composition de GPL	4
I.4.2-Classes de GPL	5
I.5-Propriétés de GPL	5
I.5.1-Propriétés physiques	5
I.5.2-Propriétés chimiques	7
I.6-Rendement du GPL	7
I.7-Utilisation du GPL	8
I.8-Avantages et inconvénients techniques du GPL	9
I.9-Transformer les ressources de GPL en énergie	10
I.10-Transport des GPL	10
I.10.1-Le transport par pipelines (canalisations)	10
I.10.2-Transport par wagon- citernes	10
I.10.3-Le transport par bateaux (transport maritime)	10
I.10.4-Le transport par camions - citernes	10
I.11-Stockage du gaz liquéfiés	10
I.11.1-Stockage cryogénique	11
I.11.2-Stockage aérien sous pression	11
I.11.3-Stockage souterrain	12
I.12-Situation nationale du GPL	12
I.12.1-Demande nationale du GPL	12
I.12.2-Consommation du GPL	13
I.12.3-Exportations algériennes du GPL	13
I.13-Conclusion	13

Chapitre II : Description générale du procédé de séparation du GPL.

II.1-Présentation du complexe GP2/Z	15
II.1.1-Introduction	15
II.1.2-Carte d'identification du complexe GP2/Z	15
II.1.3-Différentes Etapes vécues par le Complexe GP2/Z (historique)	16

II.1.4-Caractéristiques Techniques.....	16
II.2-Description du procédé.....	17
II.2.1-Section de réception de la charge GPL.....	18
II.2.2-Section de stockage de la charge.....	18
II.2.3-Section de déshydratation.....	19
II.2.4-Section de séparation.....	21
II.2.5-Section réfrigération.....	23
II.2.6-Section stockage.....	25
II.2.7-La section d'huile chaude.....	27
II.2.8-Les utilités.....	27
II.3-Conclusion.....	28

Chapitre III : Description de la section B.O.G

III.1-Introduction.....	30
III.2-Les pertes de la section de stockage de propane.....	30
III.3-Définition du système BOG.....	31
III.4-Calcul de la quantité évaporation à l'intérieur du réservoir de propane (bac).....	31
III.5-Section du BOG propane.....	32
III.5.1-Le but de section du BOG propane.....	32
III.5.2-Le rôle de section du BOG propane.....	33
III.5.3-Les équipements du Système de BOG Propane.....	33
III.5.4-Fonctionnement de system BOG propane.....	34
III.5.5-Description du système Howden dans BOG.....	36
III.5.6-Les compresseurs Cooper 430/6101D/E.....	37
III.6-Conclusion.....	42

Partie 2 : Etude pratique

Chapitre IV : Calcul et Simulation par HYSYS

IV.1-Calcul thermodynamique.....	45
IV.1.1-Etude thermodynamique de la compression du gaz.....	45
IV.1.2-Travail de compression des gaz.....	47
IV.1.3-Rendement thermodynamique d'un compresseur.....	47
IV.2-Application thermodynamique.....	48
IV.2.1-Introduction.....	48
IV.2.2-Les caractéristiques du gaz.....	49
IV.2.3-Calcul des travaux.....	49
IV.2.4-Calcul des pressions et températures intermédiaires.....	55
IV.2.5-Calcul des rendements.....	56
IV.2.6-Calcul de puissance.....	57
IV.3-La simulation de compresseur Cooper 430/6101 D/E (HYSYS).....	58
IV.4-Interprétation des résultats.....	62
Conclusion Générale.....	64
Référence.....	65
ANNEXE.....	66

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Schémas présentatifs de différents extraits de GPL.....	4
Figure I.2 : La formule de Propane et Butane.....	4
Figure I.3 : Equivalences d'un kilogramme de GPL.	7
Figure I.4 : quelques Utilisation domestique de GPL.....	8
Figure I.5 : utilisation de GPL comme source d'hydrogène.	8
Figure I.6 : le GPL automobiles a prié la production. (GPL/c).	9
Figure I.7 : Eléments constitutifs d'un réservoir cryogénique.....	11
Figure I.8 : Exemple de réservoir souterrain.	12
Figure I.9 : La demande nationale en GPL	12
Figure II.1 : Schéma synoptique du complexe GP2/Z.....	17
Figure II.2 : Section de réception et stockage de la charge GPL.....	18
Figure II.3 : Section de déshydratation.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.4 : Section de séparation	23
Figure II.5 : Section réfrigération.	25
Figure II.6 : schéma de la boucle d'huile.....	27
Figure III.1 : Schéma simplifié d'un bac de stockage.	31
Figure III.2 : Déperdition du propane stocké dans le bac	32
Figure III.3 : Le rôle du système B.O.G de propane.	33
Figure III.4 : la section B.O.G.	36
Figure III.5 : Compresseur Howden boucle propane.....	37
Figure III.6 : Compresseur Cooper BOG propane.....	37
Figure III.7 : une roue du compresseur Cooper.	39
Figure III.8 : les paliers supports du compresseur Cooper.	40
Figure III.9: une butée du compresseur Cooper.	40
Figure III.10: Multiplicateur du compresseur Cooper.	41
Figure III.11 : la Section B.O.G propane.....	42
Figure IV.1 : diagramme thermodynamique (H,S).....	45
Figure IV.2 : Diagramme (P,V).	46
Figure IV.3 : Graphe de la température en fonction de la pression.	56
Figure IV.4 : Introduction des composants du gaz évaporé (HYSYS-Photo écran).	58
Figure IV.5 : Introduction du modèle thermodynamique (HYSYS-Photo écran).....	59
Figure IV.6 : Introduire le compresseur et les flèches d'entrée (Streams)- (HYSYS-Photo écran).....	59
Figure IV.7 : Introduction des composants du gaz évaporé (HYSYS-Photo écran).	60
Figure IV.8 : Introduction du débit et de température et pression d'entrée du compresseur (HYSYS-Photo écran).	60
Figure IV.9 : Préciser l'entrée et sortie et l'énergie nécessaire pour le compresseur (HYSYS-Photo écran).	61
Figure IV.10 : Simulation du compresseur BOG.....	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : composition du GPL.....	5
Tableau I.2 : Caractéristiques des composants du GPL.....	6
Tableau II.1 : Mode de fonctionnement du cycle de régénération.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau III.1 : Caractéristiques techniques des compresseurs.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau III.2 : Caractéristiques techniques des moteurs.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.1: Paramètre de fonctionnement du compresseur de Constructeur.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.2 : Caractéristiques des gaz présent dans le compresseur.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.3 : Résumer les résultats des trois étages.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.4 : le travail global du compresseur.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.5 : Pression intermédiaires dans les trois roues.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.6 : Température intermédiaires dans les trois roues (T ₁ ,T ₂ ,T ₃). .	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.7 : Tableau comparatif des résultats obtenus du calcul avec HYSYS.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.8 : Tableau comparatif enter les résultats des calculs thermodynamiques et caractéristiques techniques du fonctionnement normale de compresseur.....	Erreur ! Signet non défini.

LISTE DES SYMBOLE ET ABREVIATIONS

P_r : pression de refoulement.
 P_a : pression d'aspiration.
 Z : Coefficient de compressibilité.
 Q_m : Débit massique.
 T_a : Température d'aspiration.
 T_r : Température de refoulement.
 C_p : Chaleur spécifique.
 n : Vitesse de rotation.
 R : constante de gaz.
 T_{cr} : Température critique du mélange.
 P_{cr} : Pression critique du mélange.
 K : coefficients adiabatiques.
 ε : Taux de compression.
 n : Coefficient polytropique.
 W_{ad} : Travail adiabatique.
 W_p : Travail polytropique.
 W_r : Travail réel.
 η_{ad} : Rendement adiabatique.
 η_p : Rendement polytropique.
 η_g : Rendement global.
 P_i : pression dans la roue (i).
 P_{i+1} : pression dans la roue (i+1).
 T_i : température dans la roue (i).
 T_{i+1} : température dans la roue(i+1).
 P_u : la puissance transmise au gaz.
 N_a : la puissance absorbée.

CHAPITRE I : Généralité sur le GPL.

Introduction générale :

Le sud algérien possède des richesses naturelles et des réserves en hydrocarbures, ce qui explique la présence d'une large gamme de produits relatifs aux gisements de pétrole et de gaz. Pour la séparation de ces produits et de leurs dérivés, notre pays a investi des sommes importantes pour installer de grands complexes de traitement répartis en plusieurs unités, comme le complexe GP2/Z (situé à Arzew, Oran) spécialisé dans le traitement du gaz de pétrole liquéfié (GPL), où nous avons réalisé nos études.

Le GPL est une énergie primaire non renouvelable bien répartie dans le monde, propre et de plus en plus utilisée. Bien que connu depuis l'Antiquité, son utilisation s'est généralisée surtout après la Seconde Guerre mondiale. Il dispose de nombreuses qualités : abondance relative, souplesse d'utilisation, qualités écologiques et prix compétitif.

Le traitement du gaz de pétrole liquéfié dans le complexe GP2/Z vise à produire deux types de produits, à savoir le gaz propane et le gaz butane, qui sont exportés pour une utilisation et une activité commerciale, notamment avec le continent européen. Nous expliquerons ce processus de séparation du gaz de pétrole liquéfié en détail au cours de notre étude.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier la récupération des gaz évaporés au niveau du bac de propane et de réaliser une étude thermodynamique du compresseur responsable du processus de récupération des vapeurs, avec une simulation HYSYS pour ce compresseur.

Le mémoire s'articule autour de quatre chapitres. Nous commencerons par des généralités sur le GPL, suivies d'une description générale du procédé de séparation du GPL, qui conduira à la description de la section B.O.G, contenant l'élément essentiel de récupération de ces vapeurs et leur liquéfaction avant d'être réintroduites dans le bac de stockage. Pour cela, nous effectuerons un calcul analytique du compresseur multiétage et sa simulation par HYSYS afin de valider nos résultats. Enfin, nous conclurons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I : Généralités sur le gaz de pétrole liquéfié

I.1-Introduction :

Le GPL, ou gaz de pétrole liquéfié, est d'une importance capitale à l'échelle mondiale en tant que source d'énergie polyvalente et écologique. Utilisé dans divers secteurs, notamment les foyers, les transports, l'industrie et l'agriculture, le GPL offre une alternative propre aux combustibles traditionnels, contribuant ainsi à réduire la pollution atmosphérique et les émissions de gaz à effet de serre. Son rôle dans la transition vers des transports plus durables, son impact économique grâce au commerce international et sa capacité à fournir une source d'énergie flexible dans les régions éloignées en font une ressource énergétique essentielle dans le contexte de la transition énergétique mondiale.

I.2-Définition de GPL :

Le Gaz du Pétrole Liquéfié est un mélange gazeux, composé essentiellement de butane et de propane, mais il peut demeurer à l'état liquide sous des pressions relativement basses.

Ceci présente l'intérêt de stocker une importante quantité d'énergie dans un volume réduit (1 litre de GPL liquide est égal à 250 litres de GPL gazeux), ce qui permet de le transporter plus facilement que les gaz non condensables (méthane, éthane) qui exigent des pressions très élevées [1].

I.3-Origine de GPL :

Le gaz de pétrole liquéfié ou GPL est un mélange d'hydrocarbures légers stocké à l'état liquide et issu du raffinage du pétrole (40 % des ressources mondiales) et plus généralement du traitement du gaz naturel (60 % des ressources mondiales). [2]

I.3.1-Fractions lourdes de l'extraction de gaz naturel :

Les champs de gaz (pour plus de 60%). En moyenne, un champ de gaz naturel fournit près de 90% de méthane (CH₄) mais aussi 5% de propane et 5 % d'autres gaz dont le butane. Schématiquement, on refroidit le gaz naturel extrait pour en séparer les différents constituants. On obtient alors des GPL (butane et propane à l'état liquide), alors que le méthane se trouve encore à l'état gazeux, ces gaz ayant des points de liquéfaction différents. Du butane et du propane sont également récupérés lors de l'extraction de pétrole, sous forme de gaz associés dissous (d'où l'appellation de « de gaz de pétrole » liquéfiés). Les pourcentages de butane et du propane contenus dans le gaz naturel et le pétrole brut sont très variables d'un gisement à un autre.

I.3.2-Fractions légères du raffinage du pétrole :

Lors du raffinage du pétrole brut, le butane et le propane constituent entre 2 et 3% de l'ensemble des produits obtenus. Ils constituent les coupes les plus légères issues de la distillation du pétrole brut. Ces gaz sont également récupérés à l'issue d'opérations de traitement « secondaires », après la phase de distillation. Selon sa provenance, une tonne de pétrole brut traitée produit 20 à 30 kg de GPL, dont 2/3 de Butane et 1/3 de Propane. Au total, les GPL ne pourront dépasser 5% de la ressource mondiale en hydrocarbures.

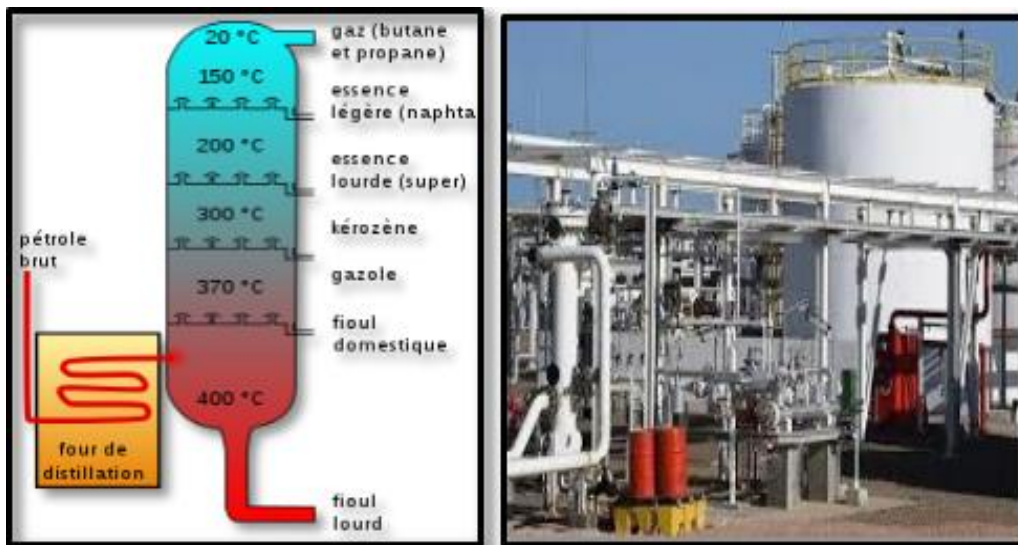


Figure I.1 : Schémas présentatifs de différents extraits de GPL.

I.3.3-GPL en Algérie :

Dans les pays pétroliers et gaziers comme l'Algérie, l'industrie des GPL est méconnue du grand public. En Algérie la majeure partie des GPL provient des champs pétroliers (79%) suite à la séparation du gaz et du traitement du pétrole brut, soit 4,35 millions de tonnes, l'autre partie est produite au niveau des raffineries du pétrole de Skikda, Alger et Arzew (10%).[2]

I.4-Composition et classes de GPL :

I.4.1-Composition de GPL :

Le GPL est un produit qui contient deux composés essentiels qui sont le Propane C_3H_8 et le Butane C_4H_{10} .

La figure suivante représente la formule de propane et butane [3] :

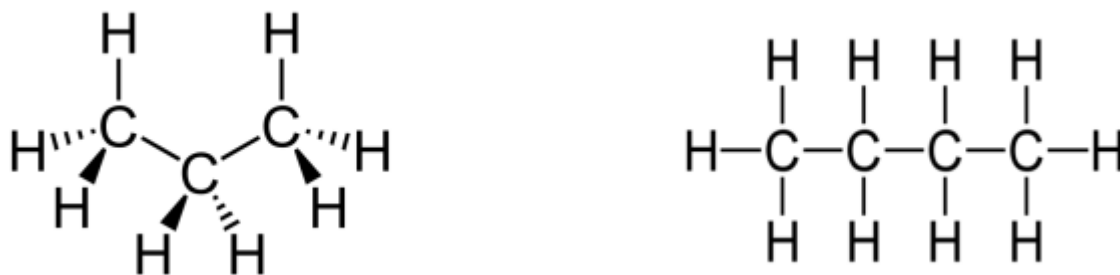


Figure I.2 : La formule de Propane et Butane.

Le GPL est composé d'environ 80 % de butane (C_4H_{10}) et 20 % de propane (C_3H_8). C'est un carburant dit propre, issu du raffinage du pétrole brut. Son utilisation présente des avantages par rapport d'autre combustible en permettant de réduire de :

- 50 % les émissions d'oxyde d'azote ;
- 50 % celles des monoxydes de carbone ;
- 90 % celles des hydrocarbures et particules.

CHAPITRE I : Généralité sur le GPL

Le tableau ci-dessous présente les compositions d'un mélange GPL :

Tableau I.1 : composition de GPL.

Composition de GPL	% molaire (minimum)	% molaire (maximum)
CO ₂	0	0.01
Méthane	0	0.03
Ethane	1.32	2.60
Propane	47.5	64.6
i- butane	12.88	16.81
n- butane	24.14	26.10
i- pentane	0.03	0.34
n- pentane	0	0.05

La composition chimique du GPL est variable selon les normes et son utilisation dans différents pays. Il peut contenir du propylène, du butène et un faible pourcentage de méthane, d'éthylène et de pentane.

I.4.2-Classes de GPL :

Les classes du GPL sont en nombre de trois à savoir, le propane commercial, le butane commercial et un mélange des deux, connu sous le nom de bupro [3] :

- ❖ **Le propane commercial** : Le constituant majeur de ce GPL est bien entendu le propane, les butanes et les éthanes représentent respectivement 25% et 1% de ce mélange.
- ❖ **Le butane commercial** : Tel que son nom l'indique ce GPL est composé essentiellement du butane, le pourcentage du propane atteint 3% alors que celui du pentane dépasse rarement 1.5%.
- ❖ **Gaz Bupro** : Cette dernière classe de GPL est composée d'une quantité de propane supérieur à 65%, et un pourcentage de butane inférieur à 25%, on rencontre également dans ces mélanges des traces d'éthanes et de pentane inférieur à 2%.

I.5-Propriétés de GPL :

Le GPL a les propriétés suivantes :

I.5.1-Propriétés physiques : [4]

- **Tension de vapeur** : Soumis à des températures supérieures à leur point d'ébullition, le propane et le butane ne peuvent être amenés à l'état liquide que sous pression ou par réfrigération. (Tension de vapeur à 20°C : butane = 2bars, propane = 8 bars).
- **Densité** : A l'état gazeux, ils sont plus lourds que l'air ; la densité du propane est égale à 0,510 et celle du butane à 0,580.

CHAPITRE I : Généralité sur le GPL

- **Dilatation** : A l'état liquide, ils ont un coefficient de dilatation important dont il faut tenir compte lors de leur stockage.
- **Pouvoir calorifique** : Le GPL a un pouvoir calorifique élevé : (Kcal / Nm³)
 - Pcs (ic4) = 29460.
 - Pcs (c3) = 22506.
 - Pcs (nc4) = 29622.
- **Température d'ébullition** : A la pression atmosphérique, la température d'ébullition du butane est de -0.6 °C et celle du propane est de -40 °C.

Tableau I.2 : Caractéristiques des composants du GPL.

Caractéristiques des composants du GPL								
	Méthane	Éthylène	Éthane	Propylène	Propane	Isobutane	Butène	N butane
Formule chimique	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈	C ₄ H ₁₀
Tension de vapeur à 10°C ; (kg/cm ²)	370	45	32	7,7	6,2	1,3	1,7	1,5
Point d'ébullition à 760 mm Hg ; (°C)	-161,5	-103,7	-88,5	-47,7	-42	-11,7	-6,2	0,58
Masse volumique ; (kg/litre)	0,3		0,37	0,52	0,51	0,56	0,6	0,58
Litres de gaz obtenus à partir d'un litre de liquide(L)	443	333,7	294,3	283,5	272,7	229,3	252,9	237,8
Poids spécifique du gaz à 15°C 760mm/Hg ; (kg/m ³)	0,677	1,18	1,27	1,77	1,86	2,45	2,37	2,45
Pouvoir calorifique supérieur (kcal/kg)	13288	12028	12417	11700	11980	11828	11589	11586
Nombre d'octane (Motor Method)	120	76	99	83	96	97	84	89

I.5.2-Propriétés chimiques : [5]

- **Impuretés** : Le GPL produit au niveau des différents champs doit répondre aux Spécifications suivantes :
 - Teneur en gaz sec inférieure ou égale à 3 % mol.
 - Teneur en condensât inférieur ou égale à 0.4 % mol.
- **Odeur et couleur** : Le GPL est incolore, soit à l'état vapeur ou liquide et Pratiquement inodore. Pour des raisons de sécurité un odorant doit être ajouté pour la détection des fuites. Cet odorant est à base de sulfures appelés Mercaptans.
- **Toxicité** : Le GPL s'enflamme dans l'air, il émet un gaz considéré comme toxique. Le gaz en question dénommé le monoxyde de carbone est formé suite à une combustion.
- **Non corrosifs** : vis à vis de l'acier, ce qui facilite considérablement leurs transports et leurs stockages dans des canalisations et des bacs en acier.
- Inflammables dans des limites relativement faibles.
- Etat gazeux à la température ambiante.
- Mise en bouteille et transport facile.

I.6-Rendement du GPL :

Les GPL offrent une puissance énergétique nettement supérieure aux autres énergies. Cette efficacité nous est indiquée par leur pouvoir calorifique qui est égale à 178.1 KWh par kg, la figure I.3 indique les Equivalences des quantités de chaleur dégagées par le GPL avec celles d'autres formes d'énergie.



Figure I.3 : Equivalences d'un kilogramme de GPL.

I.7-Utilisation du GPL :

Les domaines d'utilisation du propane et du butane sont très nombreux et diversifiés [2]:

Utilisation domestique (cuisine, chauffage) :



Figure I.4 : quelques Utilisation domestique de GPL.

Utilisation pétrochimique :

Le GPL est un combustible polyvalent qui sert de matière première dans de nombreux processus de fabrication chimique, contribuant ainsi à la production d'une large gamme de produits industriels et de consommation. (Utilisé comme source d'hydrogène dans divers processus chimiques).



Figure I.5 : utilisation de GPL comme source d'hydrogène.

Utilisation industrielle :

Climatisation et refroidissement à l'échelle industrielle.

Production de carburants.

Centrale électrique : combustible pour la génération électrique.

CHAPITRE I : Généralité sur le GPL



Figure I.6 : le GPL automobiles a prié la production. (GPL/c).

Utilisation agro-alimentaire :

Culture : insecticides après traitement.

Élevage : chauffage couveuses.

I.8-Avantages et inconvénients techniques des GPL :

Les GPL ont leurs avantages et inconvénients techniques [3] :

❖ **Avantage :**

- Le GPL offre une conduite plus souple grâce à un couple moteur disponible même à bas régime. Il perd environ 5% de puissance à haut régime, mais les reprises se font plus facilement.
- Le fonctionnement du moteur est plus silencieux et les vibrations sont diminuées par rapport aux carburants classiques. De plus, la combustion du GPL ne laisse aucun dépôt de calamine et procure au moteur et aux lubrifiants une grande durée de vie.
- La surconsommation de GPL est d'environ 15 à 20% par rapport aux carburants traditionnels, ce qui permet une économie sur l'achat.
- Les émissions d'oxyde de carbone sont réduites en circulation urbaine et les gaz d'échappement sont exempts de poussière, de plomb et de soufre, ce qui répond aux normes internationales de protection de l'environnement.
- Les gaz d'échappements sont exempts de poussières, de plomb et de soufre.
- Les GPL carburant répondent bien aux problèmes de pollution des villes.

❖ **Inconvénients :**

- Le réservoir peut réduire le volume du coffre, ce qui implique de proposer une version du modèle avec un réservoir intégré.
- Le remplissage du cylindre peut entraîner une baisse de puissance maximale.
- Certaines adaptations sont nécessaires pour le moteur dans certains véhicules.
- Il y a un risque d'explosion en cas de fuite de gaz.

I.9-Transformer les ressources de GPL en énergie :

D'une manière générale la charge qui constitue l'alimentation de l'unité de production de GPL est introduite successivement dans six sections à savoir [2] :

La section compression ; la section de refroidissement et séparation ; la section de déshydratation ; la section de réfrigération ; la section de fractionnement et enfin la section de stockage.

I.10-Transport des GPL :

Les GPL sont transportés selon différentes modes [4] :

I.10.1-Le transport par pipelines (canalisations) :

Ce mode de transport est utilisé dans le cas d'un transfert de quantités importantes de GPL de leur point de récupération vers des unités de séparations ou vers les stockages importants. Ce mode de transport est retenu également dans le cas d'acheminement des GPL sur de longues distances ; et il est plus économique.

I.10.2-Transport par wagon- citernes :

Pour des quantités plus petites, il est préférable d'utiliser la voie ferroviaire. Dans ce cas le train comporte plusieurs wagons-citernes dont la capacité unitaire est de 50 tonnes.

Les wagons - citernes sont sous pression et sont fabriqués conformément à des normes contrôlées.

Ce mode de transport est surtout utilisé pour la livraison des GPL à partir des raffineries vers des stockages primaires ou à partir des stockages primaires vers des stockages secondaires.

I.10.3-Le transport par bateaux (transport maritime) :

Ce mode de transport est utilisé fréquemment pour les échanges internationaux. Dans ce cas, les GPL sont stockés dans des réservoirs réfrigérés (jusqu'à -50°) ou sous pression.

I.10.4-le transport par camions - citernes :

C'est le mode de transport le plus utilisé pour le transport de petites quantités de GPL sur de courtes distances à partir des centres de stockages vers les utilisateurs.

I.11-Stockage des gaz liquéfiés :

Des réservoirs de diverses formes et conceptions sont employés par les fabricants afin de s'adapter de manière rationnelle et économique aux caractéristiques du produit à conserver.

La mise en place d'un réservoir est conditionnée par deux exigences essentielles : la conservation du produit en limitant ou en interdisant les évaporations, et la capacité de la structure à supporter la pression interne générée par le produit. [6]

La pression de stockage dépend essentiellement de deux facteurs principaux : la nature du produit stocké et la température de stockage.

Il existe trois grands modes de stockage : [6]

CHAPITRE I : Généralité sur le GPL

I.11.1-Stockage cryogénique :

Le stockage cryogénique des GPL consiste à maintenir ces gaz à des températures très basses pour les conserver sous forme liquide. Cela permet un stockage dense dans des réservoirs isolés thermiquement. Bien que cela offre une densité énergétique élevée et une longue durée de stockage, il nécessite des équipements spéciaux et des précautions de sécurité en raison de la nature volatile des GPL.

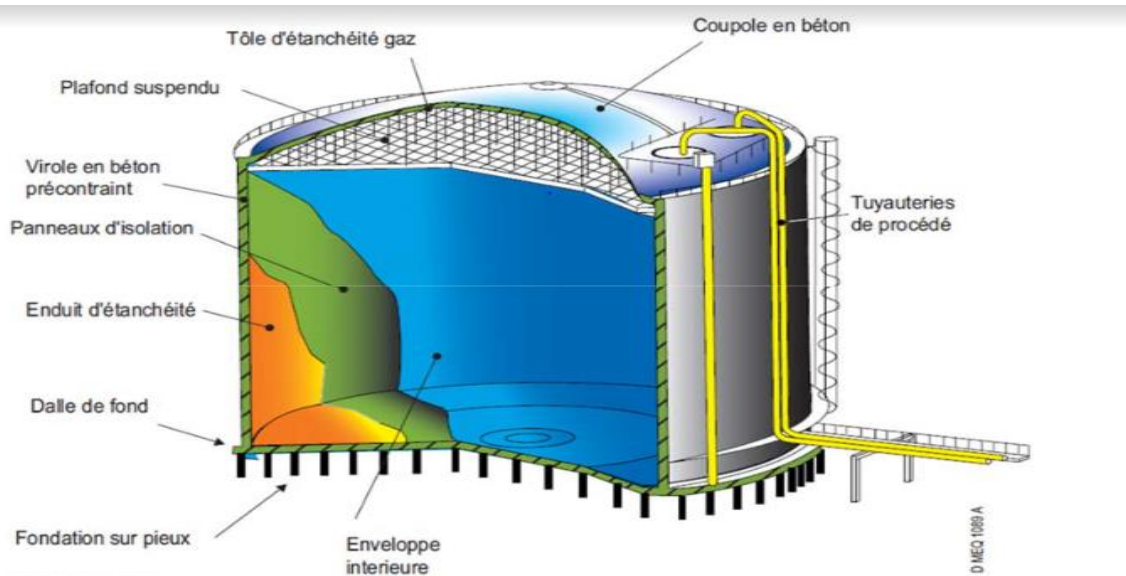


Figure I.7 : Eléments constitutifs d'un réservoir cryogénique.

I.11.2-Stockage aérien sous pression :

C'est le mode de stockage le plus rencontré dans l'industrie de GPL car il permet un stockage économique de très grandes quantités avec un coût d'exploitation minime. Le stockage est réalisé dans des réservoirs exposés directement à l'air ambiant.

La pression de stockage et la tension de vapeur à une température ambiante dépendent principalement de la nature de produit stocké et les conditions atmosphériques.

Ce mode de stockage concerne :

- **Les réservoirs cylindriques :** Ils sont installés horizontalement ou verticalement avec une capacité limitée (3000m^3) et ils sont très sensibles à la mise sous vide.
- **Les réservoirs sphériques :** Ce sont des réservoirs de forme sphérique qui permettent d'obtenir une meilleure résistance de la tôle, réduisant ainsi le coût d'investissement. Ils ont une capacité variable de 200 m^3 à 7000 m^3 et se caractérisent par un faible échange de chaleur avec l'air ambiant.

CHAPITRE I : Généralité sur le GPL

I.11.3-Stockage souterrain :

Il s'agit d'un mode de stockage souterrain qui peut être réalisé soit avec une forme sphérique, soit avec une forme de cigare, les parois étant recouvertes de couches protectrices pour résister aux effets thermiques et mécaniques. Une épaisseur minimale de 1 mètre de matériaux dense et inerte est utilisée. Pour des raisons de sécurité, toutes les canalisations et les dérivations débouchent généralement en partie haute.

Le stockage souterrain de GPL implique l'enfouissement des réservoirs de gaz de pétrole liquéfiés sous la surface de la terre, offrant ainsi des avantages en termes d'espace, de protection contre les intempéries et de sécurité incendie. Les réservoirs souterrains sont équipés de systèmes de sécurité et de surveillance, mais ils présentent des défis en matière d'entretien et de conformité environnementale.

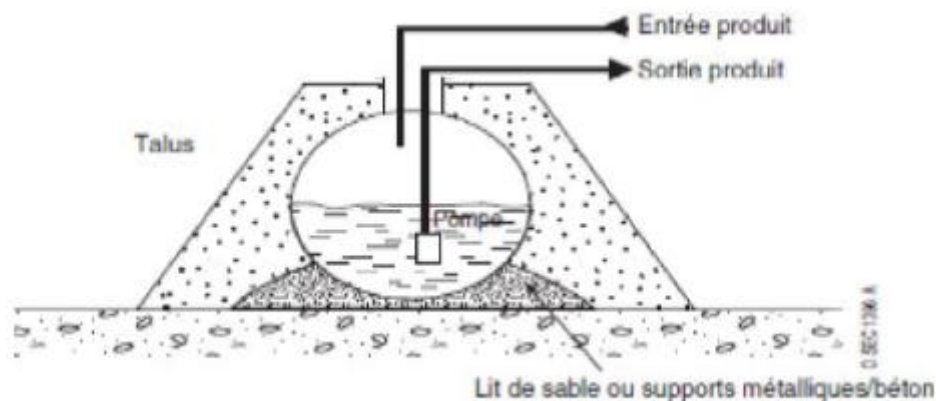


Figure I.8 : Exemple de réservoir souterrain.

I.12-Situation nationale des GPL :

I.12.1-Demande nationale des GPL :

La demande nationale en gaz de pétrole liquéfié est d'environ 1,4 million de tonnes, dont 90 % sont : Butane, 5 % de propane et 5 % de gaz de pétrole liquéfié (GPL/c). [8]

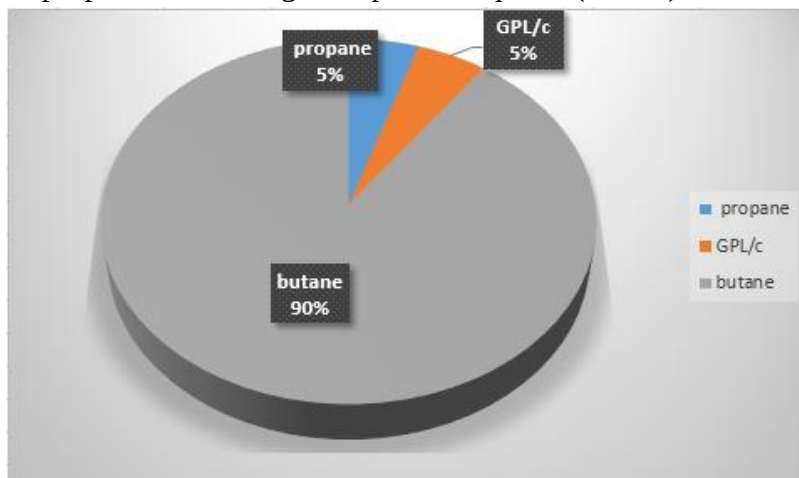


Figure I.9 : La demande nationale en GPL [8].

Elle est répartie comme suit :

CHAPITRE I : Généralité sur le GPL

- 36.000 tonnes (24 %) dans la région Ouest.
- 516.000 tonnes (37 %) dans la région Est.
- 401.000 tonnes (29 %) dans la région Centre.
- Et en fin (10%) au Sud.

I.12.2-Consommation de GPL :

Les dernières statistiques de consommation de carburant en Algérie révèlent Changements de comportement des consommateurs, utilisation croissante du GPL. La consommation des GPL, principalement dans le secteur domestique, a enregistré une croissance de l'ordre de 2%. L'utilisation du GPL comme carburant, suscite un intérêt croissant ; il a augmenté de 40%, chose qui aidera parfaitement l'état à réduire les importations du carburant et les produits pétroliers raffinés dont la facture est estimée à plus d'un milliard de dollars par an [6].

I.12.3-Exportations algériennes de GPL :

Aujourd'hui, l'Algérie est largement le second exportateur mondial des GPL, derrière l'Arabie Saoudite.

- **Méditerranée** : 80% (France, Italie, Espagne, Portugal, Maroc, Turquie, Egypte, Liban, Tunisie, Syrie). Qui constitue notre marché naturel.
- **USA** : 14% est le second débouché de SONATRACH.
- **Amérique latine** : 3% (Brésil, Mexique, Equateur, Guatemala, Porto Rico).
- **Asie** : 2% (Corée, Chine, Japon, Singapour, Australie).
- **Europe du Nord** : 1% (Hollande, Suède, Belgique, Finlande, Angleterre).

Le programme de valorisation des ressources gazières, lancé au début des années 90, fait bénéficier aujourd'hui SONATRACH de disponibilités importantes de GPL. Depuis la mise en exploitation du champ gazier de Hamra en 1996, la production du GPL a suivi une croissance soutenue. Elle devrait atteindre un volume de 11 millions de tonnes avec la mise en service des nouvelles installations [7].

À moyen terme, l'objectif de SONATRACH est de conserver plus ou moins la même segmentation que celle d'aujourd'hui.

I.13-Conclusion :

En conclusion, le gaz de pétrole liquéfié (GPL) occupe une place significative dans le monde en tant que source d'énergie polyvalente, offrant une alternative propre au charbon et au pétrole dans de nombreux secteurs. Son stockage et son transport faciles en font une option flexible, contribuant à la sécurité énergétique des régions éloignées. Pour les pays exportateurs, le GPL représente souvent une source importante de revenus, nécessitant une gestion prudente pour assurer un développement économique durable. En résumé, le GPL joue un rôle essentiel à la fois dans l'économie mondiale et dans les stratégies énergétiques nationales des pays exportateurs.

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

II.1. Présentation du complexe GP2Z :

II.1.1. Introduction :

Le complexe GP2/Z est l'un des deux complexes de séparation de GPL pour la production du propane et du butane commerciaux, de la division liquéfaction de la branche LQS aval (ex LTH). Situé à Arzew sur une superficie de 13,5 hectares, est implanté sur le plateau de l'ancienne plage « les sa blettes » entre GL4-Z (ex la Kamel) au nord/ouest et l'AMONIAC au sud/est. Il est situé à environ 4 km de la ville d'ARZEW. Ce complexe a été construit par la société anglaise C.J.B (Constrictor John Brown) et mis en service en 17 mars 1973. Il comporte deux trains (semi-modulaires) et un autre nouveau train en arrêt, utilisant le procédé de distillation sous pression pour produire du propane et du butane. Construite à l'origine pour traiter une charge composée d'un mélange GPL/condensât.

II.1.2. Carte d'identification du complexe GP2/Z

LOCALISATION : Arzew

SUPERFICIE : 13,5 hectares

Objectif	: Traitement de 1,4 millions de tonnes de la charge GPL.
Produits	: Propane et butane commercial.
Procédé utilisé	: Distillation sous pression.
Nombre de trains	: Deux (02) trains semi-modulaires.
Constructeur	: CJB
Date de démarrage des travaux	: 1973
Capacité de stockage	: Propane et butane commercial, deux (02) bacs de stockage de Capacité 70 000 m ³ chacun.

RESSOURCES HUMAINES :

Nombre d'effectif	: 333 agents
Cadre	: 125 agents
Maîtrise	: 177 agents
Exécution	: 31 agents

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

II.1.3. Différentes Etapes vécues par le Complexe GP2Z (historique)

- **Année 1973** : Démarrage de l'usine pour le traitement d'une capacité de 4 millions de tonnes par an de mélange de GPL/ Condensat. L'usine a été construite par la compagnie anglaise CJB (Constrictor John Brown).
- **Année 1984** : Arrêt de l'usine au mois de Juillet suite à la mise en service des unités de stabilisation des condensats au niveau des champs du sud.
- **Année 1990** : Redémarrage de l'usine au mois de novembre pour le traitement du GPL après modification du procédé pour une capacité de 0.6 millions Tonnes /an.
- **De 1993 à 1996** : Projet de développement du Complexe à 1,2 MT/AN
- **Année 2004** : Projet Sécurisation & Fiabilisation du complexe GP2Z Suite aux incidents de l'année 2003, le Complexe GP2.Z a fait appel au prestataire IHI/ITOCHU pour l'audit et L'engineering du complexe afin de dégager des plans d'actions pour en améliorer la sécurité et la fiabilité et d'en achever le développement à la capacité optimale soit 1,4 MT/AN.[9]

II.1.4. Caractéristiques Techniques : [9]

Le complexe comprend principalement :

- Une zone de stockages et de chargement des produits finis,
- Une (01) salle de contrôle DCS,
- Une (01) salle de contrôle sécurité,
- Deux (02) trains de traitement.
- Les trains de traitement modulaires comprennent.
- Une section de déshydratation commune.
- Une section de séparation.
- Une section de réfrigération commune.
- Une section d'huile chaude commune.
- Une section Air Instrument Commune.
- Une zone BOG Commune.

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

II.2. Description du procédé :

La charge GPL est composée en grande partie de propane, de butane et d'un faible taux de méthane, éthane et de pentane. Elle provient des différents champs pétroliers et gaziers du sud.

Le GPL provenant à une pression de 20Kg/cm² et à la température ambiante, composé essentiellement de propane (C₃H₈) et du butane (C₄H₁₀), passe par une station de détente et est stocké à une pression de 08 à 09.5 Kg/cm² dans la sphère destinée pour le stockage tampon.

Le produit GPL est véhiculé par les pompes de charges depuis la sphère jusqu'à l'unité de déshydratation afin de le débarrasser de son eau en passant d'abord à travers le coalesceur

Où la plus grande quantité d'eau libre est enlevée puis à travers un tamis moléculaire pour le séchage et la purification.

Le GPL déshydraté est acheminé ensuite vers les deux trains de séparation (splitter A et splitter B) où il est séparé dans les colonnes en deux produits, le propane C₃H₈ en haut de colonne et butane C₄H₁₀ au fond de colonne.

Les deux produits, propane et butane sont dirigés vers la zone de réfrigération pour procéder à leur refroidissement aux températures de stockage à la pression atmosphérique qui sont respectivement -45°C et -11°C.

Le propane sortant est condensé par les aéroréfrigérants puis refroidi dans trois stades à différentes pressions HP, MP et BP respectivement à travers les Schiller.

Le butane sortant des aéro-réfrigérants à la température de 30°C passe par deux stades de réfrigération (HP et MP) pour atteindre la température de -11°C.

Le butane et le propane réfrigérés sont stockés respectivement dans les bacs 420/6104 et 420/6105, chacun d'une capacité de stockage de 70000 m³, destinés aux marchés national et international, tandis que le butane à la température ambiante, destiné au marché national est stocké dans deux sphères d'une capacité de 1150 m³ chacune. [10]

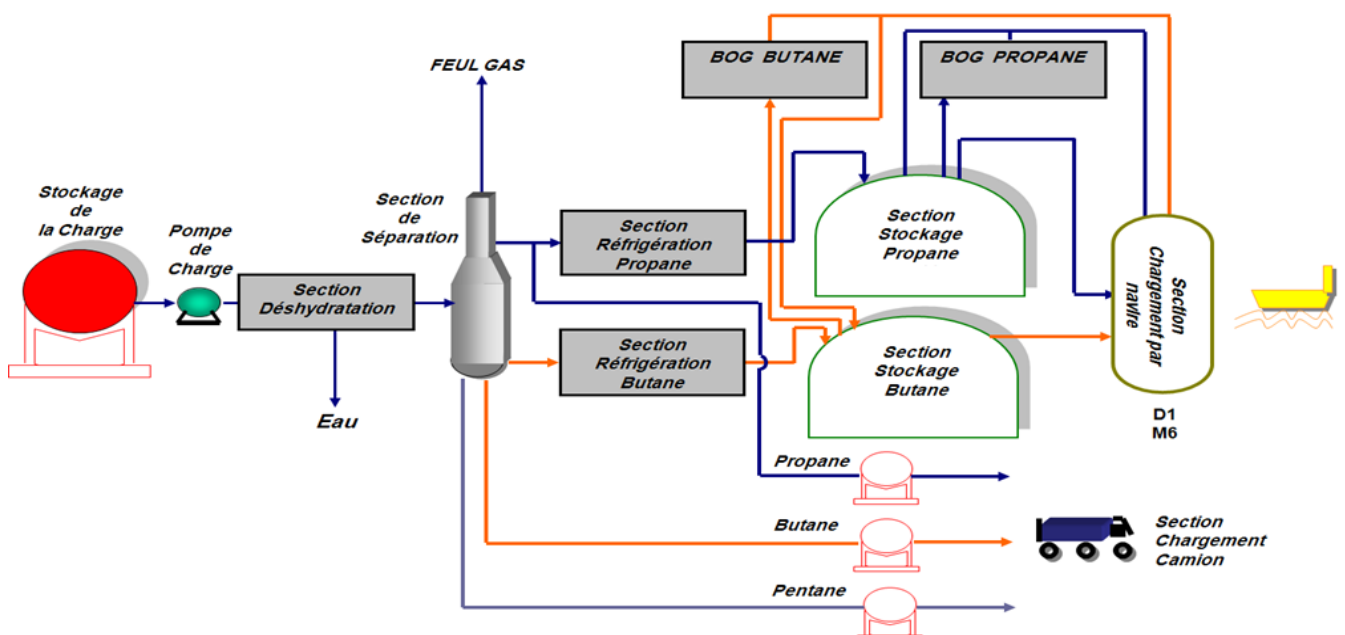


Figure II.1 : Schéma synoptique du complexe GP2/Z.

II.2.1-Section de réception de la charge GPL :

La charge d'alimentation de GPL est envoyée à partir du terminal RTO jusqu'à la limite de batterie du complexe GP2Z à une pression de 20 Bar et à la température ambiante, Pour la sécurité de l'ensemble du Complexe GP2Z, la vanne d'arrêt commandée à distance XV-6501, est installée à l'entrée du complexe.

La charge GPL passe par l'un des deux filtres (440/6502 A.B), un en service et l'autre en stand-by, Afin d'éliminer les impuretés : (sables, poussière, matière étrangère). Les filtres sont contrôlés par Différence de pression de l'entrée et celle de la sortie, l'augmentation de ce paramètre est détectée par l'indicateur de pression différentielle (PDI 6501) jusqu'à l'alarme indique la saturation du filtre qui oblige en revanche son arrêt pour le nettoyage après l'alternance vers le deuxième.

La charge GPL sortant du filtre en service passe à travers un dégazeur de charge (410/6502) pour enlever les gaz non condensables tel que « CO₂, CH₄... » et gaz inertes. Les gaz séparés dans le Dégazeur de la charge d'alimentation sont automatiquement déchargés au système de torchage.

La pression de la charge GPL est réduite à la pression de service des sphères de stockage par l'avalanche de détente (FV/6501). [10]

II.2.2-Section de stockage de la charge :

Cette section a pour fonction de stocker la charge GPL dans deux sphères (420/6105 A.G), la capacité de chaque sphère est de 1220 m³. Le GPL est stocké à une température ambiante et une pression de 9bar qui est contrôlée par le PIC-6101 qui permet l'injection du gaz naturel dans les sphères pour la pressurisation et qui décharge les vapeurs vers le système de torchage. Ce genre de stockage est appelé un stockage tampon (le débit de la charge sortante égale au débit de la charge d'alimentation). La charge GPL est envoyée à la section déshydratation par les pompes de charge (425/6205 B.C.G). [10]



Figure II.2 : Section de réception et stockage de la charge GPL.

II.2.3-Section de déshydratation :

Introduction :

L'unité de déshydratation a été conçue pour sécher le produit GPL à une teneur inférieure à 1 ppm d'eau. Elle est constituée par les équipements suivants :

- Un coalesceur d'alimentation 440/6203.
- Deux sécheurs (adsorbeurs) 440/6202/A/B.
- Deux filtres de GPL 440/6205/A/B.
- Un préchauffeur des gaz de régénération 405/6203.
- Un aérocondenseur des gaz de régénération 405/6229.
- Un séparateur des gaz de régénération 410/6214.

La déshydratation a pour but d'éliminer l'eau libre et l'eau dissoute dans la charge afin d'éviter la formation d'hydrates au niveau des équipements en aval. En effet, le procédé va nécessiter l'abaissement de la température en dessous de 0°C ce qui exclue toute présence d'eau dans les circuits et les équipements des installations.

Le refoulement des pompes (425/6205B.C.G) est acheminée vers le coalesceur (440/6203) qui est installé pour séparer les gouttelettes par gravitation.

La charge GPL dont l'eau libre est enlevée par le coalesceur est introduite dans l'un des deux déshydrateurs (440/6202A.B), un déshydrateur est en cycle d'adsorption tandis que l'autre est en cycle de régénération.

La charge s'écoule vers le bas en passant par le lit de tamis moléculaire.

La Section est conçue pour éliminer l'eau de la charge GPL jusqu'à une teneur inférieure à 1PPM en poids.

L'eau est adsorbée par les tamis moléculaires et vaporisée par le gaz chaud lors de la régénération. La vapeur d'eau entraînée par le fuel gaz est condensée dans le refroidisseur 405/6229 et séparée dans le ballon séparateur 410/6214. Cette eau est drainée à l'atmosphère sous contrôle de niveau et le gaz est acheminé vers le réseau de fuel gaz.

Après la séquence de régénération, l'adsorbeur est refroidi par la circulation de gaz froid en by passant le réchauffeur 405/6203, lorsque le cycle de refroidissement est achevé, l'adsorbeur est rempli de GPL et dépressurisé. Ensuite il sera en attente jusqu'à sa remise en adsorption pour un nouveau cycle. [10]

❖ Cycle d'adsorption :

Le principe se fait par adsorption des molécules d'eau, qui sont fortement attirées vers les tamis Moléculaire ; par contre les molécules de GPL traversent librement le sécheur.

Lors de l'écoulement de la charge GPL vers le bas à travers le lit de tamis moléculaire, l'eau est Adsorbée, en suite éliminée par la chaleur durant le cycle de régénération.

❖ Cycle de régénération :

Après le cycle d'adsorption qui est de 48 heures, le déshydrateur passe à la régénération pour enlever l'eau piégée dans les pores du tamis moléculaire, par le passage du gaz naturel à une température voisine de 280°C.

Le cycle de régénération dont la séquence de chauffage est la principale passe par d'autres séquences avant sa remise en cycle d'adsorption.

Les séquences du cycle de la régénération sont résumées dans le tableau suivant : [10]

Tableau II.1 : Mode de fonctionnement du cycle de régénération.

Séquence	Temps	Action
Drainage du GPL	3 heures	Injection Fuel gaz
Dépressurisation	0,1 heures	
Chauffage	13.5 heures	Passage du gaz naturel chaud
Refroidissement	9 heures	Passage du gaz naturel froid
Remplissage	2 heures	Admission du GPL
Stand-by	≈20 heures	Aucune

▪ Drainage :

Le but de la séquence de drainage est d'évacuer le produit GPL de Sécheur vers les sphères de stockage tampon sous pression du gaz naturel (1,3 MPaG).

▪ Dépressurisation :

Après l'achèvement de drainage, le Sécheur-A est dépressurisé à 1,0 MPaG. Le temporisateur pour l'étape de dépressurisation est réglé à 5 minutes.

▪ Chauffage :

La séquence de chauffage est la plus importante du cycle de régénération, durant cette séquence l'eau adsorbée est complètement éliminée du tamis moléculaire par le passage du gaz de régénération.

Le gaz de régénération d'un débit théoriquement de 3120 Kg/h est chauffé jusqu'à la température à l'entrée est 250°C au minimum par les fumées provenant des turbines à gaz 430/6201A/B/C.

▪ Refroidissement :

A la suite de la séquence de chauffage, le sécheur doit être refroidi par le gaz de refroidissement « GN » qui passe directement du bas vers le haut à travers le lit où la température de cette dernière baisse progressivement jusqu'à la température de service qui est de l'ordre de 20 à 40°C.

▪ Remplissage :

A cette étape, la vanne de remplissage reçoit l'ordre de s'ouvrir, pour permettre l'admission du liquide GPL par le bas de l'absorbeur. Au fur et à mesure que le niveau monte dans le sécheur ; le gaz emprisonné se comprime en créant l'augmentation de pression ; lorsque cette dernière atteint le point de consigne du contrôleur de pression, le surplus est évacué vers la torche.

▪ Stand-by :

Lorsque le niveau de liquide atteint le haut (LSH), la vanne de remplissage se ferme, l'adsorbeur demeure en stand-by et près à être remis en adsorption.

La charge d'alimentation de GPL séchée quitte le Sécheur de la charge d'alimentation de GPL et entre dans les Filtres (440/6205A/B) qui éliminent les particules solides du lit de tamis moléculaire. La charge d'alimentation de GPL déshydratée et filtrée est fournie à la Section de séparation.



Figure II.3 : Section de déshydratation.

II.2.4-Section de séparation :

L'unité de séparation a été conçue pour séparer le mélange de la charge GPL en propane commercial comme produit de tête des colonnes et en butane commercial comme produit de fond des colonnes. Elle est constituée par « 02splitters » 407/6201/A/B, chacun d'eux comprend les équipements suivants respectivement :

TRAIN A (407/6201/A) et TRAIN B (407/6201/B) :

- Une colonne de séparation 407/6201(A/B) de 46 plateaux.
- Un préchauffeur de la charge GPL 405/6201(A/B).
- Une batterie d'aérocondenseurs 402/6202(A/B) et 405/6204(A/B).
- Un ballon de reflux 410/6201(A/B).
- Deux pompes de reflux 425/6202(A et B/C et D).
- Un rebouilleur 405/6224(A/B)

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

La charge GP0çL est à une pression de 22.5 bars passe par le préchauffeur où elle est préchauffée par le butane venant du fond de colonne de dépropanisation. La température d'entrée GPL est régulée par la vanne TIC 6213 qui se trouve sur la ligne de sortie butane du fond de colonne. Le débit d'entrée du GPL est contrôlé par la FIC 6203. Le courant de GPL venant du préchauffeur rentre au niveau du plateau n°24. Les hydrocarbures légers se séparent du courant d'alimentation et s'élèvent vers le sommet de la colonne à contre-courant d'un reflux continu de propane. Le propane commercial extrait comme produit de tête de distillation est condensé en totalité au niveau des aérocondenseurs 405/6202/A et 405/6204/A. Le propane provenant du ballon de reflux 410/6201/A est aspiré par l'une des pompes de reflux 425/6202/A/B. Une partie est réintroduite en tête de colonne comme reflux dans la colonne. Le débit de reflux est contrôlé par la FIC 6205. L'autre partie du propane va s'écouler vers la réfrigération via la LV 6226 qui permet de maintenir un niveau liquide dans le ballon de reflux. Le liquide du fond de colonne (butane) pénètre dans le rebouilleur où il se vaporise partiellement. La partie vaporisée retourne vers la colonne en dessous du 46ème plateau comme reflux de vapeur alors que l'autre partie du butane s'écoule vers la réfrigération via la LV 6201 qui permet de maintenir un niveau liquide dans le rebouilleur. La chaleur nécessaire au rebouillage est fournie par de la TORADA (Huile Thermique) venant du four. La température du plateau N°46, TIC 6258 contrôle le débit de rebouillage en agissant directement sur la vanne de débit de TORADA la FIC 6219. [9]

Paramètres de fonctionnement en exploitation des deux colonnes 407/6201/A ET B [9]

❖ Débits :

- Débit d'entrée du GPL = 87.5 T/hr.
- Débit de reflux de propane = 110 T/hr.
- Débit de propane vers réfrigération = 46.2 T/hr.
- Débit de butane sortie de colonne = 263 T/hr.
- Débit de butane vers réfrigération = 41.3 T/hr.
- Débit de TORADA TC vers rebouilleur = 421 T/hr.

❖ Pressions :

- Pression d'entrée du GPL = 22.5 bars.
- Pression tête de colonne = 19.8 bars.
- Pression TORADA TC vers rebouilleur = 7.6 bars.

❖ Températures :

- Température d'entrée du GPL = 60.8 °C.
- Température tête de colonne = 57.4 °C.
- Température reflux = 49.5 °C. Température fond de colonne = 106.3 °C.
- Température TORADA TC vers rebouilleur = 190 °C.

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL



Figure II.4 : Section de séparation

II.2.5-Section réfrigération :

La section réfrigération a pour objet de refroidir les produits propane et butane commerciaux, aux températures de stockage -45°C pour le propane et -11°C pour le butane à la pression atmosphérique. Le système de réfrigération est un système par cascade qui utilise du propane pur comme agent réfrigérant. Le refroidissement est effectué à l'aide d'une boucle fermée à trois niveaux de températures 11.8°C , -16.9°C et -40.3°C correspondants à la haute Pression HP (5 bars), Moyenne Pression MP (1.5 bars) et basse pression BP (0.05 bars). [11]

II.2.5.1-Circuit du propane commercial (c3c) :

Le propane commercial venant de la section de séparation est introduit dans la section réfrigération qui contient trois refroidisseurs (Schiller).

❖Schiller HP :

Le propane est refroidi par le sous refroidisseur (405/6213) à 29°C varie selon la température ambiante de la section de séparation, il est introduit dans le Schiller de l'étage HP (405/6205) et sort à une température d'environ 10°C .

❖Schiller MP :

Ensuite, le propane est envoyé au Schiller de l'étage MP (405/6206) qui diminue la température à -19°C .

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

❖ Schiller BP :

Le propane passe au troisième Schiller de l'étage BP (405/6207) et refroidi à une température de -38°C. Le produit réfrigéré, passe alors par le ballon flash (ballon de détente) qui n'est pas le cas actuel où il est détendu à 0,04 bars pour atteindre la température de -45 °C qui n'est autre que la température de stockage du produit fini au niveau du bac de stockage du propane réfrigéré. Le produit est finalement expédié vers le bac de stockage au moyen d'une pompe. [11]

II.2.5.2-Circuit du butane commercial (c4c) :

Le butane sortant du fond des deux colonnes de séparation à une température 45°C, il d'érigera vers l'aéro-réfrigèrent (405/6214) pour se refroidir à une température de 26°C. Ensuite, il se partage en deux parties est envoyé vers les sphères du butane ambiant (420/6105- E/F) pour le chargement de NAFTAL et l'autre partie entre dans les deux refroidisseurs (Schiller).

❖ Schiller HP :

Le butane introduit dans le Schiller de l'étage HP (405/6210) coté faisceau, il se refroidit à une température d'environ 10°C.

❖ Schiller MP :

Le butane passe au Schiller de l'étage MP (405/6212) et sort à la température d'environ de -11°C.

II.2.5.3-Circuit de propane pur (réfrigérant) :

C'est un circuit fermé. Le propane pur (liquide réfrigérant) stocké dans le ballon 410/6217 à une pression d'environ 10 bars et à une température avoisinant les 25°C qui alimente le stade de haute pression (Schiller 05 et 10). Ces derniers vont alimenter le stade de moyenne pression (Schiller 06 et 12) ; puis le stade de basse pression (Schiller 07). Le propane pur refroidi les produits propane et butane commerciaux dans les Schiller par un échange de chaleur par convection. Les vapeurs produites sont dirigées vers des ballons séparateurs pour chaque stade où ils sont aspirés par le turbo compresseur et refoulé vers les aérocondenseurs. Et stockées dans le ballon 410/6217. [11]

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

II.2.6.1-Bac de stockage propane :

Ce bac assure le stockage du propane à la pression atmosphérique et à une température de -45°C, il contient quatre pompe (425/6101G-H-I-j) qui sont immergées dans le bac afin d'assurer l'expédition de propane vers les quais de chargement. Le rôle de la pompe (425/6101j) est de refroidir la ligne d'expédition du propane commercial à une température froide de -45°C. [11]

II.2.6.2-Chargement navire du propane réfrigéré :

Le chargement navire se fait au moyen des pompes immergées, les 425/6101/G, /H, et /I. Le débit minimum est maintenu par la PIC 6165. Le remplissage des navires se fait au niveau de la S1 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/A et /B. Le refroidissement de la ligne de chargement se fait par la pompe 425/6101/J qui aspire du propane réfrigéré et le retourne vers le bac 420/6104. [9]

II.2.6.3-Bac de stockage butane :

Cette capacité a pour but d'assurer le stockage du butane à la pression atmosphérique et à une température de - 15°C, elle contient quatre pompe (425/6101A-B-C-F) sont immergé dans le bac afin d'assurer l'expédition de propane vers les quais de chargement le rôle de la pompe (425/6101F) est de refroidir la ligne d'expédition du propane commercial d'une température froide de -15°C. [11]

II.2.6.4-Chargement navire du butane réfrigéré :

Le chargement navire se fait au moyen des pompes immergées : les 425/6104/G et I pour les grands débits et par la 425/6104 /D pour des débits moindres. Le débit minimum est maintenu par la PIC 6167. Le remplissage des navires se fait au niveau de la S2 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/C et D et de la S3 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/E et F. [9]

II.2.6.5-Section de stockage butane ambiant :

La section de stockage ambiant comporte 02 sphères 420/6105/E/F Le butane est stocké à température ambiante et la pression est maintenue dans les sphères à 8 bars. [11]

II.2.6.6-Chargement camion du butane ambiant :

Les installations de chargement camions sont conçues pour permettre le chargement du butane ambiant via respectivement les MOV 6105/E/F des sphères 420/6105/E/F. Le butane est transféré par les pompes 425/6205/E/F lorsque le transfert s'effectue du complexe GP2Z vers NAFTAL. [9]

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

II.2.7-La section d'huile chaude :

Les fours 401/6201C/D fournissent la chaleur nécessaire au rebouillage des fonds de colonnes au niveau des rebouilleurs 405/6224A/B. Ces fours sont conçus pour réchauffer la TORADA.TC utilisée comme fluide caloporteur pour les rebouilleurs des colonnes de séparation. Le circuit du fluide caloporteur TORADA TC se fait en boucle fermée. A partir du ballon tampon, le 410/6211, la TORADA TC est pompée vers les fours par l'une des pompes de circulation les 425/6215/D/E. La TORADA.TC rentre en zone de convection pour être préchauffée par la chaleur des fumées montantes puis chauffée à la température requise au niveau des faisceaux de la zone de radiation. La chaleur est fournie par les brûleurs utilisant un mélange de vapeur de propane non condensées récupérer de la section Boil off et de gaz naturel. L'air de combustion est induit par tirage naturel et les fumées sont évacuées par tirage de la cheminée, et les fours sont équipés des pilotes et des brûleurs. [11]

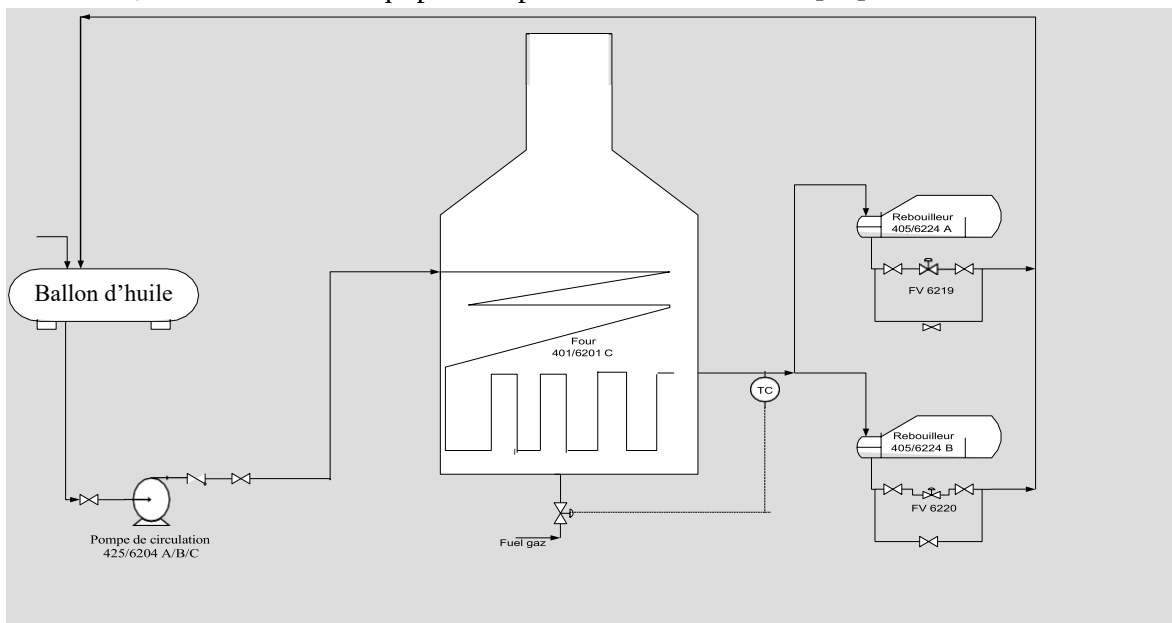


Figure II.6 : schéma de la boucle d'huile.

II.2.8-Les utilités :

Ils sont constitués des réseaux suivants :

- Réseau fuel gaz : Il est destiné à alimenter les fours de rebouilleur, turbines, les pilotes de torches et le stockage de GPL et butane.
- Réseau d'électricité.
- Réseau d'air instrument.
- Réseau gaz inerte (azote).
- Réseau méthanol.
- Réseau d'eau d'incendie.

CHAPITRE II : Description générale du procédé de séparation de GPL

II.3. Conclusion :

Le gaz de pétrole liquide arrive du sud à l'état liquide en maintenant sa pression jusqu'au complexe GP2/Z à travers des stations de pompage, après avoir atteint le complexe, il est traité et séparé en deux produits de base, qui sont le propane et le butane. Dans cette partie, nous vous avons présenté le Complexe GP2/Z et expliqué toutes ses sections, dont le traitement du gaz de pétrole liquéfié.

CHAPITRE III: Description de la section B.O.G

III.1 Introduction :

Le degré de stockage du propane après la séparation et refroidissement dans le bac de stockage est de -45, afin de le conserver sous forme liquide. Cependant, bien que le bac de stockage soit doté de techniques d'isolation thermique, il n'est pas efficace à 100 %, et parce qu'il y a aussi de petites traces du méthane et de l'éthane mélangés au propane après la séparation, on en retrouve une grande quantité de vapeur (Principalement du propane, avec une très petite quantité d'éthane et de méthane) à l'intérieur du bac de propane, ce qui a obligé le complexe GP2/Z à utiliser la section BOG afin de restituer ces vapeurs sous forme liquide en les refroidissant et en les renvoyant au bac de stockage, Dans ce chapitre, nous découvrirons la section BOG, son rôle, son but, son importance, le principe fonctionnement et les équipements les plus importants dans cette section.

III.2. Les pertes de la section de stockage de propane :

La part majoritaire de ces pertes au niveau de provienne à partir du bac de stockage du propane et la section B.O.G par le phénomène d'évaporation soit par respiration, remplissage, ou un échange thermique [12]

Causes des pertes :

Il existe 3 raisons principales de perte dans le service de stockage : [12]

- **Pertes par respiration**

Le phénomène de respiration des réservoirs, qui consiste en une succession alternée d'aspirations d'air extérieur et d'expulsions d'air carbure, est provoqué par les variations quotidiennes de température que subissent les réservoirs d'augmenter la température de la surface du liquide.

La tension de vapeur du produit croît et devient supérieure à la pression partielle des hydrocarbures dans la phase gazeuse. Il y a donc évaporation et augmentation de la pression partielle des hydrocarbures.

- **Pertes par remplissage**

Leur cause est purement mécanique. La diminution du volume offert à la phase gazeuse provoque l'expulsion d'une partie de celle-ci lorsque la pression atteint la valeur de tarage de la soupape. Les remplissages se faisant à température constante, s'il n'y a pas variation de la concentration des gaz expulsés. De même, la vidange du réservoir doit s'accompagner d'une rentrée d'air pour éviter l'écrasement des parois.

- **Pertes thermiques d'un réservoir**

Un réservoir perd de la chaleur par rayonnement et par convection, de nombreux expérimentateurs ont étudié le problème des pertes thermiques et du réchauffage des réservoirs. L'analyse se révèle assez complexe si l'on veut tenir compte de tous les paramètres d'influence. (Voir la figure III.1)

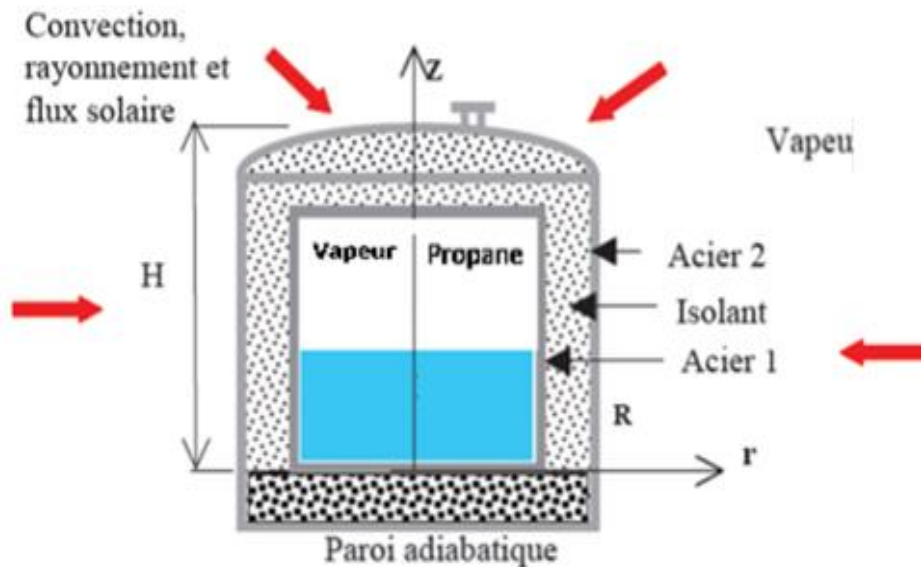


Figure III.1 : Schéma simplifié d'un bac de stockage.

III.3. Définition des système BOG :

Un système "Boil Off Gas" (BOG) est un système de récupération de gaz utilisé principalement dans les installations de stockage et de transport de gaz liquéfié, comme le GNL et GPL ou l'ammoniac liquéfié.

Lorsque ces gaz sont stockés à des températures très basses et à des pressions élevées, une petite quantité du gaz liquide se vaporise naturellement au fil du temps en raison de la chaleur ambiante. Ce gaz vaporisé est connu sous le nom de "boil off gas" (gaz évaporé).

Le système BOG est conçu pour récupérer ce gaz évaporé afin de minimiser les pertes et de les réutiliser ou de les retraiter. Typiquement, le gaz récupéré est réinjecté dans le processus de liquéfaction pour être reconverti en liquide, ou utilisé comme source d'énergie pour les installations de production ou de transport. Cela contribue à améliorer l'efficacité énergétique et à réduire les émissions de gaz à effet de serre associées à la production et à l'utilisation de gaz liquéfié.

III.4. Calcul de la quantité évaporée à l'intérieur du réservoir de propane (bac) :

Données de base :

- Volume de produit : $70\,000\text{ m}^3$
- Volume total du réservoir : $101\,600\text{ m}^3$
- Densité du produit : 590 kg/m^3
- Température : -44°C
- Pression : 1.013 bars

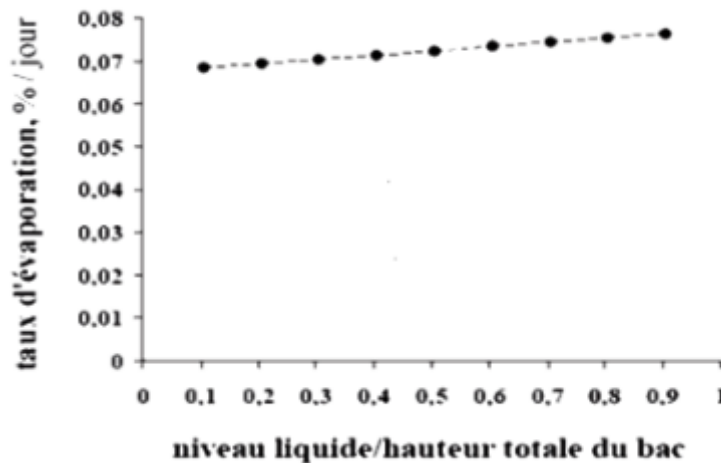


Figure III.2 : Déperdition du propane stocké dans le bac. [12]

D'après la figure (III.2) on trouve que $\zeta = 0.075 \text{ \% / jour}$

Evaporation maximal = $V_{produit} \times \rho_{produit} \times \zeta \text{ [\% / jour]}$ [12]

Evaporation maximal = $70\,000 \times 590 \times 0.075\% \text{ / jour} = 1290.63 \text{ Kg/heure}$

Interprétation des résultats :

Les résultats obtenus montrent une quantité importante et significative d'évaporation se produisant dans le bac de stockage de propane en l'espace d'une heure. Cette évaporation représente une perte substantielle de gaz, qui pourrait autrement être utilisé ou vendu. Par conséquent, ces résultats mettent en évidence l'importance d'intégrer une section BOG (Boil-Off Gas) dans le complexe GP2/Z.

La section BOG est essentielle pour récupérer les vapeurs de propane qui s'échappent du bac de stockage. Sans ce système de récupération, ces vapeurs se disperseraient dans l'atmosphère, entraînant non seulement une perte économique, mais aussi des impacts environnementaux négatifs. En installant une section BOG, le complexe peut capter ces vapeurs, les liquéfier, et les réintroduire dans le bac de stockage, maximisant ainsi l'efficacité de l'utilisation du propane.

Ainsi, notre étude souligne la nécessité de la section BOG pour minimiser les pertes par évaporation, optimiser l'utilisation des ressources disponibles, et réduire l'impact environnemental associé à l'évaporation du propane dans le bac de stockage.

III.5. Section BOG Propane : [10]

III.5.1. Le but de section BOG propane :

Les objectifs principaux du système BOG dans les bacs de stockage de propane sont les suivants :

1. **Réduction des pertes** : Le système BOG vise à minimiser les pertes de propane évaporé dans les bacs de stockage. En récupérant ce gaz évaporé, on évite non seulement la perte de produit, mais aussi les émissions potentielles dans l'environnement, ce qui peut contribuer à des économies financières et à des bénéfices environnementaux.
2. **Optimisation de l'utilisation du GPL** : En récupérant le gaz évaporé, le système BOG permet de réutiliser ce gaz comme source d'énergie ou de le reconduire dans le processus de stockage. Cela contribue à une utilisation plus efficace du propane et à une maximisation de son potentiel énergétique.
3. **Sécurité** : En contrôlant le niveau de pression dans les bacs de stockage, le système BOG contribue à maintenir des conditions sécuritaires et stables. Cela peut aider à prévenir les situations de surpression ou de sous-pression, réduisant ainsi les risques d'accidents ou de dommages matériels.
4. **Conformité réglementaire** : Les systèmes BOG peuvent être conçus pour répondre aux normes et réglementations en vigueur en matière de sécurité et d'environnement. En veillant à ce que les émissions de gaz soient contrôlées et gérées de manière adéquate, les exploitants peuvent se conformer aux exigences légales et réglementaires.

En résumé, les systèmes BOG dans les bacs de stockage de GPL visent à minimiser les pertes, à optimiser l'utilisation du gaz, à maintenir des conditions de sécurité et à se conformer aux réglementations, ce qui contribue à une exploitation efficace et responsable des installations de stockage de GPL.

III.5.2. Le rôle du section BOG propane :

Le rôle principal du système BOG est de réduire la pression dans le bac de stockage de propane pour éviter d'ouvrir les soupapes de sécurité de bac et de s'échapper les vapeurs dans l'atmosphère. Cela se fait en aspirant les vapeurs et en les comprimant à travers le compresseur Cooper(430/6101D/E), d'où elles sortent du système compresseur avec 8Bar et 60°C et directement vers les aéroréfrigérant puis vers l'échangeur, après quoi il se dilate à l'intérieur du Ballon (410/6105). Sa température chute après détente à -45°C puis il retourne à nouveau dans le bac de stockage.

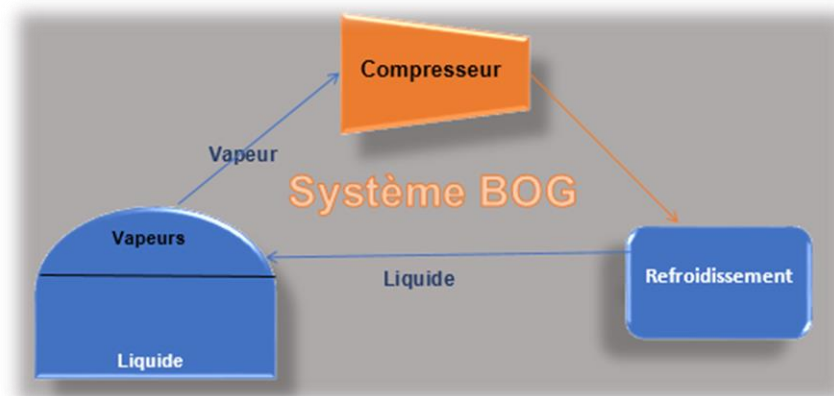


Figure III.3 : Le rôle du système BOG de propane.

III.5.3. Les équipements du Système BOG Propane sont :

La Section de Propane BOG comprend le Système de Propane BOG et le Système de Propane Réfrigérant qui sont décrits séparément. [13]

Les équipements principaux du Système de Propane BOG sont :

- Les deux Compresseurs de Propane BOG (430/6101D/E).
- Le Ballon de détente de Propane commercial (410/6106).
- Le Ballon tampon de Propane BOG liquide (410/6105).
- Le Condenseur de Propane BOG (405/6107).
- Les Pompes d'alimentation de Bac de propane réfrigéré (425/6101D/E).

III.5.4. Fonctionnement de system BOG propane : [13]

Le Propane commercial est envoyé de la Section de Réfrigération au Ballon de détente de Propane commercial par la canalisation de 6". PIC-6184 à l'entrée du Ballon de détente (410/6106) fonctionne pour maintenir la pression du Propane commercial dans la Section de Réfrigération.

Le Propane commercial est détendu à la pression (approximativement 4kPaG) à travers la PV-6184. Simultanément, le Propane commercial est refroidi à la température de saturation (approximativement -45°C) par détente à PV-6184.

Le Propane commercial passe dans le Ballon de détente (410/6106) par écoulement en 2 phases. Dans le Ballon de détente (410/6106), les vapeurs sont séparées du Propane commercial. Un dispositif antibuée filtrant est installé dans le Ballon de détente (410/6106) pour éviter l'entraînement du Propane commercial.

Les vapeurs séparées sont envoyées vers la ligne d'aspiration du Compresseur de Propane BOG. Le propane liquéfié du Propane BOG est envoyé vers le Bac de stockage de propane réfrigéré par la Pompe d'alimentation de Bac de propane réfrigéré (425/6101D/E). Le débit volumétrique du propane liquéfié est contrôlé par LIC-6261 pour maintenir constant le niveau de liquide du Ballon de détente de Propane commercial (410/6106). LIC-6261 fonctionne aussi pour introduire le propane d'appoint du Bac de stockage de propane réfrigéré par contrôlé séparé. De plus, LSHH-6154 et LSSL-6155 sont prévus pour le Ballon de détente de Propane commercial.

Si LSHH-6154 détecte un niveau de liquide haut anormal, le Compresseur de Propane BOG est arrêté et la PV6184 est fermée par le Système ESD pour éviter le débordement du Ballon de détente de Propane commercial.

Si LSSL-6155 détecte un niveau de liquide haut anormal, la Pompe d'alimentation de Bac de propane réfrigéré est arrêtée par le Système ESD pour éviter la cavitation de la Pompe.

Le Ballon de détente de Propane commercial a une fonction supplémentaire, Le gaz chaud du Compresseur de Propane BOG est recyclé dans le barboteur du Ballon de détente de Propane commercial. Le débit du gaz chaud est contrôlé par PIC-6143 qui contrôle la pression d'aspiration du Compresseur de Propane BOG. Ce système permet de maintenir la pression d'aspiration constante du Compresseur (4kPaG) et assure le fonctionnement stable du Compresseur.

2 Pompes d'alimentation de Bac de propane réfrigéré sont prévues. Une Pompe est en service et l'autre est en réserve. La capacité nominale de la Pompe d'alimentation de Bac de propane réfrigéré est 190m³/h (111.340kg/h).

La ligne de recirculation à débit minimum avec la vanne de contrôle FV-6151 est prévue pour maintenir plus du débit minimum pour les Pompes d'alimentation de Bac de propane réfrigéré.

La ligne d'évent du corps de Pompe d'alimentation de Bac de propane réfrigéré est connectée à la phase vapeur du Ballon de détente de Propane commercial (425/6101D/E). La température de service de cette ligne d'évent étant très basse, il est facile de produire de la vapeur par la chaleur de l'atmosphère. Par conséquent, toujours ouvrir les vannes d'évent du corps de Pompe d'alimentation de Bac de propane réfrigéré.

Le Propane BOG du Bac de stockage de propane réfrigéré et les vapeurs flashées du Ballon de détente de Propane commercial sont envoyés au Compresseur de Propane BOG. Les vapeurs comprennent 3-4% de méthane et 8-18% d'éthane. Elles sont de composition pratiquement identique.

Le débit volumétrique du Propane BOG varie considérablement pendant le chargement sur navire. Toutefois, la pression d'aspiration du Compresseur de Propane BOG est contrôlée à 4kPaG par PIC-6143 qui contrôle le débit de recirculation du gaz de refoulement du Compresseur de propane.

Un autre contrôleur de pression PIC-6133 est prévu sur la ligne d'aspiration.

PIC-6133 détend la pression au Système de torchage BP, si la pression d'aspiration augmente à 8kPaG en condition anormale.

L'unité de Compresseur de Propane BOG est constituée du skid principal de Compresseur, du Refroidisseur complémentaire avec le Refroidisseur d'huile et le Générateur d'azote (N2) pour fournir l'azote pour l'étanchéité à sec double.

L'unité de Compresseur de Propane BOG a un système de contrôle automatique qui contrôle la vanne de contrôle d'aspiration PCV-170D/E et la vanne de contrôle de recirculation PVC-171D/E. Ce système de contrôle fonctionne pour le contrôle du pompage et de la charge.

Le Compresseur de Propane BOG peut fonctionner à une charge constante stable, du fait du contrôle par PIC-6143 de la pression d'aspiration.

Le Générateur d'azote (N2) doit fonctionner en continu sans tenir compte du Compresseur en service ou en réserve, du fait que la face d'étanchéité du Compresseur doit rester sèche.

Les conditions de calcul du Compresseur de Propane BOG sont 0,7MPaG pour la pression de refoulement et 15.000kg/h pour le débit. La température en aval du Refroidisseur complémentaire est 60°C.

La capacité du Refroidisseur complémentaire du type aéroréfrigérant monte quand la température atmosphérique baisse, car ce Refroidisseur ne peut pas être réglé pour une température plus basse. Pour tenir compte de la condensation des vapeurs en hiver, TIC-6151D/E avec la vanne de contrôle de by-pass du Refroidisseur complémentaire est prévu pour maintenir la température de sortie à plus de 20°C. La température de consigne de TIC-6151D/E est 30°C avec une marge de sécurité.

Un peu de Propane BOG passant dans le Refroidisseur complémentaire est recerclé dans le Ballon de détente de Propane commercial par PIC-6143. Les vapeurs restantes sont envoyées dans le Condenseur de Propane BOG (405/6107) qui refroidit les vapeurs à approximativement -24°C et les condense totalement en service normal.

Le propane condensé est récupéré dans le Ballon tampon de Propane BOG liquide (410/6105).

En principe, la pression du Ballon tampon de Propane BOG liquide dépend de la pression de vapeur du propane récupéré.

CHAPITRE III : Description de la section B.O.G

Donc, la pression est contrôlée en injectant le gaz refoulé par le Compresseur de Propane BOG par PIC-6152 dont la pression de tarage est 0,6 MPaG. PIC-6152 envoie également la vapeur au Système de torchage HP par contrôle séparé pour éviter tout risque de surpression. L'autre pression de tarage de contrôle séparé est 0,7 MPaG.

Le débit du Propane condensé BOG est diminué pendant le chargement sur navire en particulier.

En outre, LSHH-6156 et LSSL-6157 sont prévus pour le Ballon tampon de Propane BOG liquide.



Figure III.4 : la section B.O.G.

III.5.5. Description du système Howden dans BOG : [14]

La boucle de propane réfrigérant BOG assure la régénération du propane réfrigérant à une température de -26°C dans l'échangeur 405/6107, pour la condensation des vapeurs BOG récupérés du bac de stockage 420/6104 et les vapeurs flashées du ballon de détente 410/6106.

La boucle de propane réfrigérant est constituée principalement de deux compresseurs de type à vis lubrifié fournis par Howden compressor, un compresseur est en service et le deuxième en stand-by, un ballon d'aspiration 410/6103, un ballon tampon 410/6104 et une batterie d'aérocondenseur (405/6104A).

Le compresseur Howden aspire les vapeurs de propane réfrigérant du ballon 410/6103 pour les comprimés à une pression de 1,6 MPaG et une température de 60°C maximum avec un débit de 36.000kg/h.

Les vapeurs de propane réfrigérant comprimés sont condensés en totalité et refroidis à -42°C dans les aérocondenseurs 405/6104A avant de les acheminer vers le ballon tampon de propane réfrigérant 410/6104.

Le propane réfrigérant est ensuite envoyé vers l'échangeur de propane BOG 405/6107 comme réfrigérant est recirculé vers le ballon d'aspiration 410/6103.

Le Ballon d'aspiration de propane réfrigérant a une fonction supplémentaire, une quantité des vapeurs refoulés par le compresseur HOWDEN sont recirculé dans le ballon d'aspiration de propane réfrigérant par PIC-6155. Ce système permet de maintenir une pression d'aspiration constante du compresseur de 80kPag et assure le fonctionnement stable du compresseur.



Figure III.5 : Compresseur Howden boucle propane.

III.5.6. Les compresseurs Cooper 430/6101D/E :

III.5.6.1. Définition des compresseurs Cooper 430/6101 D/E :

Les compresseurs Cooper sont des compresseurs centrifuges à trois étages entraînés par un moteur électrique.

Les trois roues tournent à une très grande vitesse permet la transformation de l'énergie mécanique en énergie cinétique qui grâce un diffuseur placé au refoulement, cette énergie cinétique est retransformée en pression. [16]



Figure III.6 : Compresseur Cooper BOG propane.

III.5.6.2. Caractéristiques techniques des compresseurs et des moteurs principaux :

- Caractéristiques techniques des compresseurs : [16]

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques des compresseurs.

ITEM	UNITE	VALEUR		VALEUR
service		max	normal	min
gaz		propane	propane	propane
Pression barométrique	Kg/cm ²	1.01	1.01	1.01
humidité	%	0	0	0
Pression d'aspiration	Kg/cm ²	0.9	0.6	0.3
Température d'aspiration				
1 ^{er} étage	°C		-44.5	
2eme étage	°C		-6.5	
3eme étage	°C		28	
Débit d'aspiration	t/h		15	
Pression de refoulement	Kg/cm ²		08.3	
Température de refoulement	°C		60	
Débit de refoulement	t/h		15	
Courant du moteur	A		121	

- Caractéristiques techniques des moteurs : [16]

Tableau III.2 : Caractéristiques techniques des moteurs.

COURANT AVIDE	22A
VITESSE CRITIQUE	2200tr/mn
PUISSANCE NOMINALE	1050KW
TENSSION	5500V+/- 10%
FREQUENCE	50Hz
COURANT NOMINAL	126 A
VITESSE ASSIGNE	2981tr/mn

III.5.6.2. Les éléments de base des compresseurs Cooper :

➤ Les roue :

Les roues sont en porte à faux, ce qui évite tout contact de l'huile avec du gaz comprimé. L'étanchéité entre cellule de compression est assurée par joint labyrinthe également sans contact donc sans usure.

L'impulseur (la roue) ne fait que 200 mm de diamètre et l'expérience en ce domaine permet de fonctionner à des vitesses de 40 000 t/mn avec des roues beaucoup plus grosses (280 mm). Le rotor est composé d'un arbre sur lequel sont montées les roues.

Le poids du rotor et sa vitesse de rotation imposent cependant des paliers spécifiques assurant une rotation sans vibration, ni échauffement excessif, avec une très grande fiabilité. La butée qui positionne axialement le rotor est prévue pour encaisser des efforts normaux élevés et des effets supplémentaires sur incidents. [15]



Figure III.7 : une roue du compresseur Cooper.

➤ Les paliers supports :

Les paliers sont du type hydrodynamique sans contact entre arbre et palier — donc sans usure (durée de vie de 150 000 heures soit 20 ans 24 h/jour et 365 jours/an).

Dans la grande majorité des cas, les constructeurs utilisent des paliers à patins multiples basculants ou pivotants pour leur stabilité sur de larges plages de fonctionnement et pour leur possibilité de réglage lors des interventions d'entretien. [15]

Ce type d'équipement impose une bonne lubrification, en quantité, en qualité et en température pour garantir son bon fonctionnement.

Afin d'éviter une dégradation importante de la machine, un système électronique mesurant le déplacement du rotor est généralement installé à proximité de chaque palier.

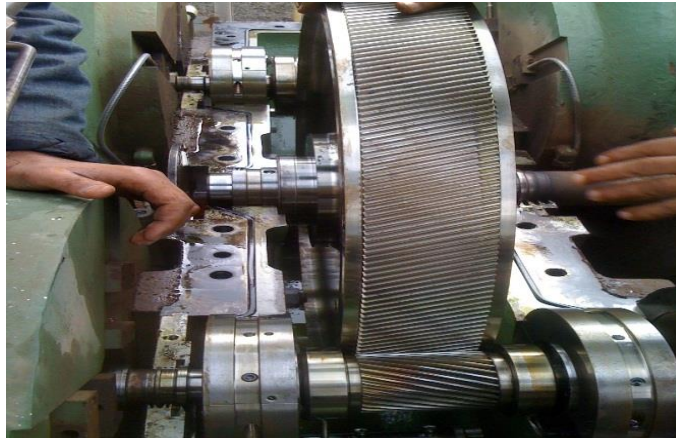


Figure III.8 : les paliers supports du compresseur Cooper.

➤ La butée :

Elle est équipée de patins oscillants qui permettent d'optimiser la surface de portée. Les butées Mitchell sont très répandues. De conception plus évoluée, les butées Kingsbury sont montées sur certaines machines. Ces butées sont elles aussi lubrifiées. Leur destruction, pouvant se produire très brusquement, génère des risques très importants de grippage interne entre roues et stator, avec des conséquences financières très élevées. Des systèmes de détection d'anomalie (mesure du déplacement axial et de la température des patins) sont pratiquement toujours installés sur la butée. [15]



Figure III.9 : une butée du compresseur Cooper.

➤ Multiplicateur :

Le multiplicateur à plan de joint horizontal permet l'accès direct et un entretien facile aux différents éléments constituant ce dernier : Les paliers supports et butée ainsi le roux et le pignon. [15]



Figure III.10 : Multiplicateur du compresseur Cooper.

III.5.6.3. Le système d'étanchéité de joint à face sèche :

Le système d'étanchéité du compresseur Cooper utilise un joint à face sèche tandem avec un gaz tampon externe d'azote.

Un débit de gaz de procédé pris de la sortie du refroidisseur intermédiaire passe par un filtre puis connectée au support de joint comme gaz tampon.

Ce débit de gaz d'étanchéité est contrôlé par les vannes aiguille NV (217, 218, 219) pour chaque étage. La mesure de débit de gaz d'étanchéité est montrée sur les FIT (211, 212, 213). Moins de ISCFM de ce gaz fuit à travers la surface du joint à face sèche primaire et combiné après au gaz tampon d'azote pour être torcher ensuite. La quantité restante du gaz d'étanchéité va être mélanger au gaz de procédé.
[16]

III.5.6.4. Système de joint d'huile tamponnée :

Les compresseurs Cooper D/E sont équipés d'un système de joint d'huile tamponnée. Une quantité d'air instrument sec et filtré est envoyée à chaque joint d'huile du compresseur pour prévenir l'entrée d'air atmosphérique dans le boîtier d'engrenages par le joint d'huile à cause du système sous vide.
[16]

III.5.6.5. Rôle des compresseurs centrifuges Cooper dans le process : (section BOG)

Le compresseur centrifuge multi-étage Cooper aspire les vapeurs froides (propane) en provenance des bacs (basse pression) et restitue au refoulement ces vapeurs comprimées et surchauffées (haute pression) aux bacs dont elles sont issues en passant à travers des Aéro- réfrigérants et des condenseurs.
[16]

III.5.6.6. Le fonctionnement des compresseurs centrifuges Cooper dans le process section BOG)

Les vapeurs du bac propane 420/6104 combinés aux vapeurs du ballon 410/6106 aspirés par le compresseur Cooper seront comprimés puis dirigés vers un Aéro-refroidisseur qui a pour rôle aussi de refroidir l'huile de lubrification.

Le gaz comprimé est acheminé vers un échangeur 405/6107 pour le condenser en liquide.

La vanne FCV170, la vanne FCV171 et le refroidisseur huile/gaz réunis sont conçus pour atteindre

CHAPITRE III : Description de la section B.O.G

une pression à la sortie du compresseur de 8.3kg/cm². La pression à l'entrée du compresseur varie entre 0.3kg/cm² et 0.9kg/cm².

Le compresseur Cooper est équipé de deux pompes d'huile de graissage. Une pompe électrique pour le démarrage et arrêt de l'équipement, l'autre pompe est mécanique entraîné par l'arbre du moteur. (Compresseur en service)

Un system d'anti-pompage est utilisé comme une protection du compresseur. Le système est basé sur la mesure du débit à l'entrée du troisième étage et sur la mesure de la pression différentielle à travers le compresseur. Le system utilise un PLC Siemens á processeur S7-400 pour assurer le bon fonctionnement du compresseur 430/6101D/E.

Le système contient aussi un panneau PLC principal (MAIN PLC) qui se trouve au niveau de l'ancienne salle de contrôle et un panneau local pour chaque compresseur [16].

La figure suivante résume le travail de l'unité BOG avec les compresseurs Cooper 430/6101 D/E et le système Howden :

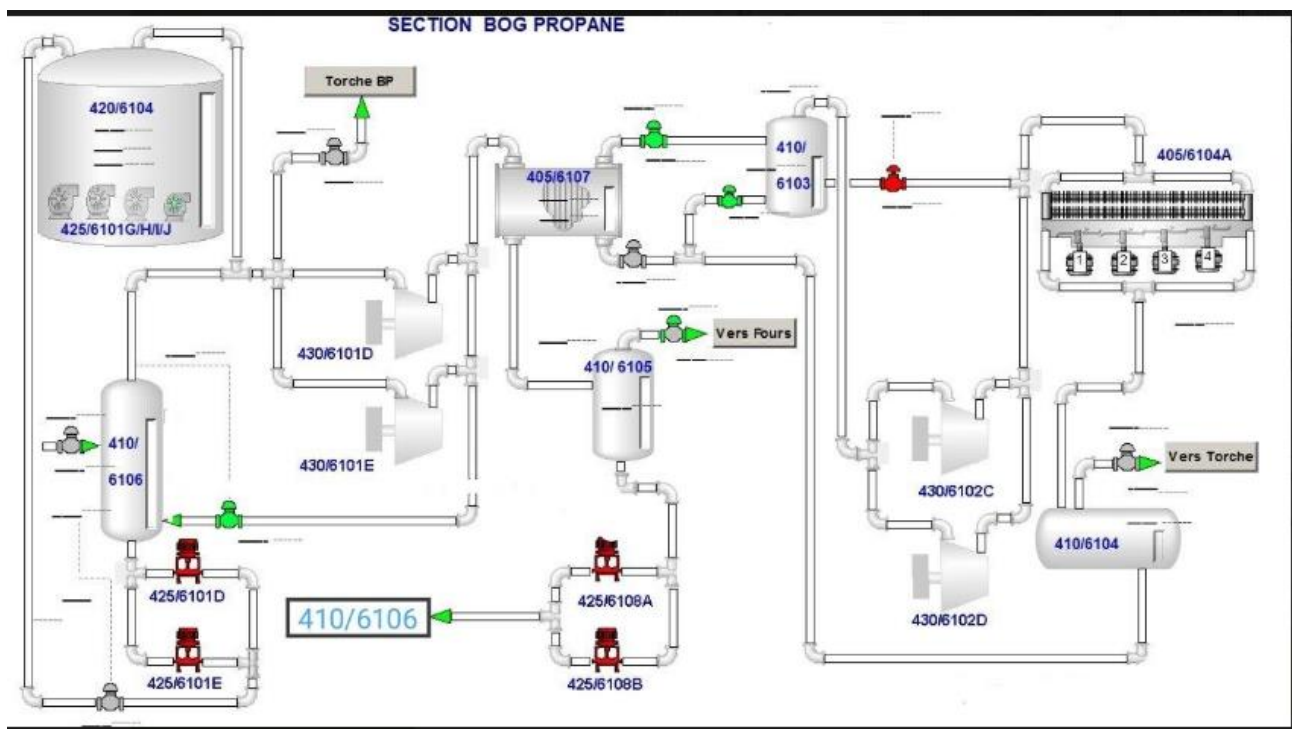


Figure III.11 : la Section BOG propane.

III.6. Conclusion :

Dans cette partie, nous avons montré que la quantité d'évaporation dans le bac de stockage de propane est effectivement importante. Grâce aux calculs précédents, nous avons constaté que la valeur d'évaporation maximale atteint environ 1290,63 kg par heure. Cette quantité significative d'évaporation représente une perte considérable de propane, justifiant la nécessité d'une méthode efficace de récupération.

Nous avons expliqué la méthode de récupération de cette vapeur présente dans le bac via la section BOG (Boil-Off Gas). Cette section est équipée de divers dispositifs essentiels pour la capture et la liquéfaction des vapeurs de propane. Parmi les équipements les plus importants, on trouve des échangeurs de chaleur, des condenseurs, et des réservoirs de collecte.

Un des composants clés de cette section est le compresseur principal. Ce compresseur joue un rôle crucial dans l'aspiration des vapeurs de propane du bac de stockage. Il comprime ces vapeurs, facilitant leur refroidissement et leur liquéfaction. Ainsi, le propane récupéré peut être réintroduit dans le bac de stockage, réduisant les pertes et améliorant l'efficacité globale du système de gestion des gaz évaporés.

En résumé, cette étude met en évidence l'importance de la section BOG et de ses équipements, en particulier le compresseur principal, pour la récupération des vapeurs de propane, minimisant ainsi les pertes par évaporation et optimisant l'utilisation des ressources.

CHAPITRE IV : Calcul Et Simulation par HYSYS.

IV.1. Calcul thermodynamique :

IV.1.1. Etude thermodynamique de la compression du gaz : [17]

D'après la thermodynamique, la quantité d'énergie fournie au gaz à savoir le travail et " dW " et la quantité de chaleur " dQ " peuvent être exprimée par la variation de l'enthalpie " dh " et de celle de l'énergie cinétique " $d(\omega^2/2)$ " pour l'unité de masse " $m=1\text{Kg}$ ".

$$dW + dQ = dh + d(\omega^2/2) \quad \text{En [J/Kg].} \quad (\text{IV.1})$$

ω : est la vitesse angulaire du gaz en [rad/s].

Cette équation représente une des formes de l'équation du premier principe de la thermodynamique relative à l'écoulement du gaz.

La chaleur est toujours négative pour les compresseurs et la vitesse ($d\omega=0$) car les vitesses du gaz à l'entrée et la sortie d'un compresseur sont approximativement égales et le travail nécessaire à la compression du gaz peut être calculé de la forme suivante :

On a : $d(\omega^2/2) = 0$

Et donc :

$$dh = dw + dq \quad (2)$$

$$dw = dh - dq \quad (3)$$

L'étude thermodynamique de la compression effectuée souvent à l'aide des diagrammes (h, s), permet de déterminer la variation d'enthalpie ($\Delta h = h_2 - h_1$) dans le compresseur. (Voir figure IV.1).

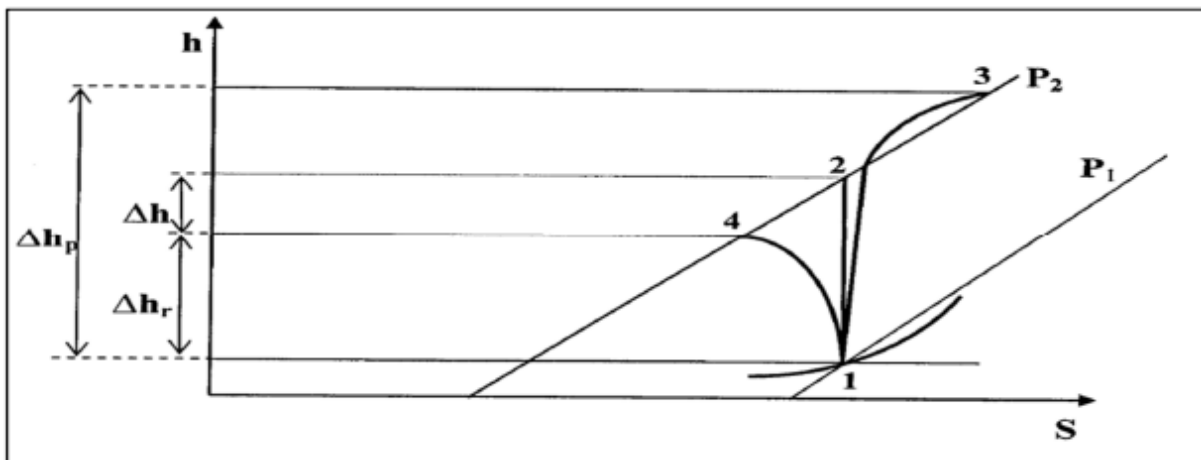


Figure IV.1 : diagramme thermodynamique (H, S).

- La compression adiabatique réversible dans un compresseur idéal sans perte d'énergie est représentée par la droite ($1 \leftrightarrow 2$) parce que dans ce cas ($Q = 0$) et la variation d'entropie ($S_2 - S_1 = 0$). $\rightarrow \Delta h = W$
- La compression réelle sans refroidissement a lieu suivant la courbe ($1 \leftrightarrow 3$) et elle est toujours accompagnée des pertes Δh_p ainsi que l'augmentation de l'entropie ($ds > 0$).
- La compression avec refroidissement ($1 \leftrightarrow 4$) pour laquelle d'après l'équation (IV. 2).

$$\Delta h = W - Q$$

- Pour les gaz parfaits Δh se calcule à partir de la chaleur spécifique à pression constante C_p .

$$W = \Delta h = C_p(T_1 - T_2) \quad (IV.4)$$

Où : T_1 : Température d'aspiration ; T_2 : Température de refoulement.

Il est plus commode d'analyser le fonctionnement à l'aide d'un diagramme (P, V) parce que l'aire dans ce diagramme correspond à la valeur de travail. (Voir figure 2).

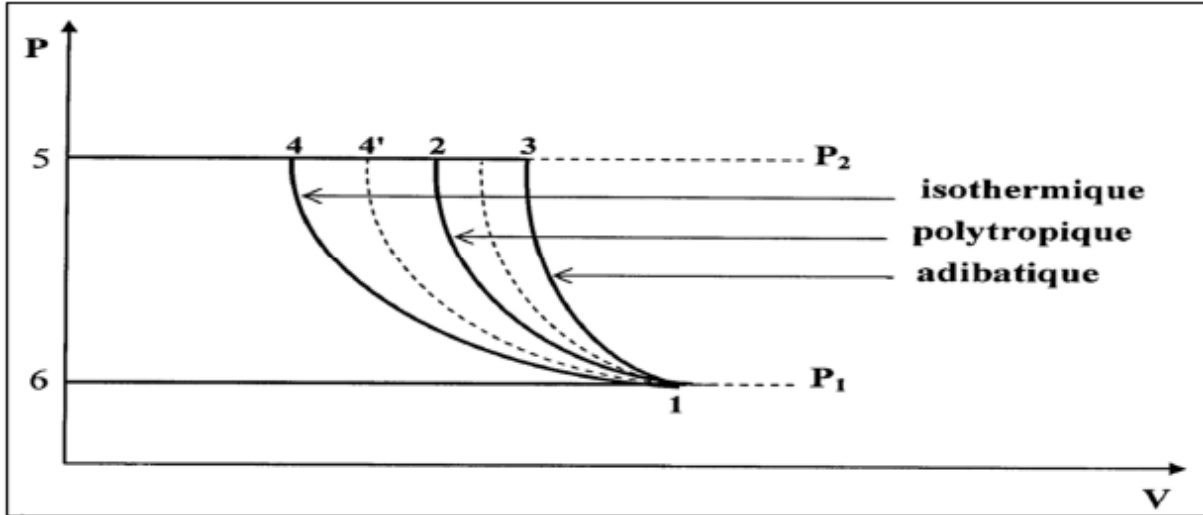


Figure IV.2 : Diagramme (P, V) .

Pour la compression isotherme par exemple le travail de compression est représenté par l'aire entre la courbe de transformation et les deux isobares : P_1 et P_{12} .

On peut alors constater que : $W_{\text{isotherme}} < W_{\text{polytropique}} < W_{\text{adiabatique}}$.

Afin d'exprimer le travail W en fonction de la pression P et de volume spécifique du gaz (V) on doit utiliser la relation pour l'enthalpie.

D'où :
$$h = U + PV \quad (IV.5)$$

$$dh = dU + PdV + VdP \quad (IV.6)$$

D'après l'équation de premier principe de la thermodynamique pour un système a volume variable telle que ($dP = 0$); pression constante.

On a :
$$dQ = dU + PdV \quad (IV.7)$$

En rapportant (5) et (6) à (1) nous obtenons :

$$dW = VdP \quad (IV.8)$$

$$W = \int VdP \quad (IV.9)$$

Et donc le travail est représenté dans le diagramme (P, V) par l'aire qui est limitée par la courbe de transformation thermodynamique.

Plusieurs cas sont à envisager suivant la loi de variation de P en fonction de V pendant la transformation.

- Pour la compression adiabatique (1-2) le travail (W) correspond à l'aire (1-2-5-6-7) qui se trouve entre l'adiabatique (1-2) avec l'exposant adiabatique ($K=\text{cst}$) et les deux droites (1-6) et (2-5).
- La compression réelle accompagnée des pertes interne est effectuée avec l'exposant polytropique
- La compression isothermique est représentée par l'isotherme (1-4).

IV.1.2 Travail de compression des gaz :

Dans les turbocompresseurs, on utilise généralement la compression adiabatique sans refroidissement du corps de la machine, le travail adiabatique peut être calculé à partir de l'expression (IV.4) pour les gaz parfaits.

Mais il est plus commande parfois d'exprimer la valeur de W en fonction de taux de compression qui est habituellement connu.

$$\varepsilon = \frac{P_2}{P_1} \quad (IV.10)$$

Dans le cas de la transformation adiabatique on a :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{K-1}{K} \right)} \quad (IV.11)$$

En remplaçant l'équation (IV.11) dans l'équation (IV.4) on trouve :

$$W_{ad} = Z \cdot T_1 \left(\varepsilon_1^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} - 1 \right) \quad (IV.12)$$

C_p Peut être calculé à partir de l'équation de MAYER :

$$C_p - C_v = R \quad (IV.13)$$

R constante de gaz en [kJ/(kg.k)]. Et $K = C_p / C_v$

$$C_p = \left(\frac{K}{K-1} \right) \cdot R \quad (IV.14)$$

En remplaçant l'équation (14) dans (12) on trouve :

$$W_{ad} = \left(\frac{k}{k-1} \right) Z \cdot R \cdot T_1 \left(\varepsilon^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} - 1 \right) \quad (IV.15)$$

Cette équation permet de calculer le travail adiabatique de la transformation réversible et sans pertes internes dit " Travail isentropique"

En remplaçant l'exposant adiabatique k par l'exposant polytropique "n" on peut utiliser toutes les équations adiabatiques pour calculer les transformations polytropiques. Il en ressort que le travail polytropique d'une transformation réversible sans pertes d'énergie avec (n = var) se calcule à partir de l'équation :

$$W_p = \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_1 \left(\varepsilon^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} - 1 \right) \quad (IV.16)$$

Le travail adiabatique réel W, d'une transformation irréversible avec (n = var) suivant l'expression (IV.4) est égale à :

$$W = C_p (T_{2r} - T_1) \quad (IV.17)$$

Où :

T_{2r} : Température réelle de gaz au refoulement.

Si l'on sait que l'exposant (n = cst) du polytrophe (1-3) (figure IV.2) qui passe par le point correspond à la compression réelle nous pouvons écrire :

$$\frac{T_{2r}}{T_1} = \varepsilon^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} \quad (IV.18)$$

Rapportant les équations (IV.14) et (IV.18) à l'équation (IV.17. IV.4) on obtient :

$$W_r = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_1 \left(\varepsilon_3^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} - 1 \right) \quad (IV.19)$$

IV.1.3. Rendement thermodynamique d'un compresseur :

Afin de calculer le travail réel W, nécessaire à comprimer (1kg) de gaz, on utilise un des rendements thermodynamiques du compresseur.

$$\eta_{th} = \frac{W_{th}}{W_r} \quad (IV. 20)$$

W_{th} : Travail thermodynamique du compresseur

Il doit être adapté selon les particularités de la compression réelle. Pour les turbocompresseurs qui sont souvent dépourvus de refroidissement du corps, on emploie généralement le travail adiabatique W_{ad} et le rendement adiabatique.

$$\eta_{ad} = \frac{W_{ad}}{W_r} \quad (IV. 21)$$

$$\eta_{is} = \frac{W_{iso}}{W_r} \quad (IV. 22)$$

$$\eta_p = \frac{W_p}{W_r} \quad (IV. 23)$$

Ce rendement polytropique ne tient pas compte exactement des pertes réelles mais il caractérise seulement la différence entre le travail réel et le travail thermodynamique avec ($n = \text{cst}$).

Des relations (IV.12), (IV.17) et (IV.21) pour les compresseurs sans refroidissement on a :

$$\eta_{ad} = \frac{\varepsilon^{\left(\frac{n-1}{n}\right)} - 1}{\frac{T_{2r}}{T_1} - 1} \quad (IV. 24)$$

D'après (IV.16), (IV.17), (IV.23) :

$$\eta_p = \left(\frac{n}{n-1}\right) \left(\frac{K-1}{K}\right) \quad (IV. 25)$$

Dans la pratique l'exposant polytropique n'est pas connu et il doit être remplacé par le taux de compression et la température réelle de refoulement T_{2r} , à aide de la relation (18) on tire :

$$\left(\frac{n}{n-1}\right) = \frac{\log \varepsilon}{\log \left(\frac{T_{2r}}{T_a}\right)} \quad (IV. 26)$$

$$\eta_p = \left(\frac{K-1}{K}\right) \left(\frac{\log \varepsilon}{\log \left(\frac{T_{2r}}{T_a}\right)}\right) \quad (IV. 27)$$

IV.2. Application thermodynamique :

IV.2.1. Introduction :

Le calcul thermodynamique a été réalisé dans le but de déterminer précisément les performances du compresseur, ce qui est essentiel pour obtenir des résultats fiables et applicables. Pour ce faire, nous avons utilisé les paramètres de fonctionnement réels obtenus sur le site du complexe. Ces paramètres ont été recueillis et sont résumés dans les tableaux suivants : (Tableau 1 : Paramètres de fonctionnement relevés sur site). Ces données comprennent une gamme de variables telles que la pression, la température, le débit, et d'autres facteurs pertinents pour le fonctionnement du compresseur. Ces paramètres ont été utilisés comme entrées dans nos calculs thermodynamiques, nous permettant ainsi de modéliser et d'évaluer de manière précise les performances du compresseur dans des conditions réalistes et spécifiques au site.

CHAPITRE IV : Calcul et Simulation par HYSYS

Tableau IV.1 : Paramètre de fonctionnement du compresseur de Constructeur.

Paramètres de fonctionnement	1 ^{ère} étage.	2 ^{ème} étage.	3 ^{ème} étage.
Pression aspiration; en [bars]	$P_a = 0,63$	$P_a = 1,31$	$P_a = 2,89$
Pression de refoulement ; en [bars]	$P_r = 1,31$	$P_r = 2.89$	$P_r = 8.31$
Température aspiration ; en [K]	$T_a = 229,63$	$T_a = 268,8$	$T_a = 303,28$
Température de refoulement ; en [K]	$T_r = 268,8$	$T_r = 303,28$	$T_r = 337,83$
Débit massique ; en [kg/h]	$Q_m = 15000$	$Q_m = 15000$	$Q_m = 15000$
N° des roués	1	1	1
Chaleur spécifique ; en [kJ/kg. K]	$C_{p1} = 1,81$	$C_{p2} = 2,04$	$C_{p3} = 2.17$

IV.2.2. Les caractéristiques du gaz :

Tableau IV.2 : Caractéristiques des gaz présent dans le compresseur.

Composantes	Concentration moléculaire X%	Masse molaire (M) [Kg/Kmol]	Température critique [K°]	Pression critique [bars]
CH_4	8,6	16,04	190,56	45,96
C_2H_6	11,42	30,07	305,33	48,72
C_3H_8	79,85	44,09	369,85	42,48
i- C_4H_{10}	0,04	58,12	408,1	36,41
n- C_4H_{10}	0,01	58,12	425,16	37,97

➤ Masse molaire du mélange gazeux :

$$M = \sum M_i X_i \Rightarrow M = 40.05 \text{ Kg/K mol}$$

IV.2.3. Calcul des travaux :

1^{er} étage :

➤ Détermination de la constante spécifique du gaz : [18]

$$r = \frac{R}{M} = \frac{8.314}{40.05} = 0.208$$

- Calcul des coefficients adiabatiques : [18]

$$r = C_p - C_v$$

$$K = \frac{C_{p1}}{C_{p1} - r} = \frac{1.89}{1.89 - 0.208} = 1.123 \quad \Rightarrow \quad K = 1.123$$

- Taux de compression : [18]

$$\epsilon_1 = \frac{P_r}{P_a}$$

$$\epsilon_1 = 2.079$$

- Coefficient polytropique : [18]

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\log \epsilon_1}{\log \frac{T_r}{T_a}}$$

$$n = \frac{\log \epsilon_1}{\log \epsilon_1 - \log \left(\frac{T_r}{T_a} \right)}$$

$$n = \frac{\log 2.079}{\log 2.079 - \log \left(\frac{268.8}{229.63} \right)} = 1.274$$

➡ $n = 1.274$

- Le coefficient de compressibilité : [18]

✓ **Aspiration :**

Température critique du mélange : $T_{cr} = \sum X_i \cdot T_{cri} \quad \Rightarrow \quad T_{cr} = 346,788$

Pression critique du mélange : $P_{cr} = \sum X_i \cdot P_{cri} \quad \Rightarrow \quad P_{cr} = 43,455$

$$T_{red} = \frac{T_a}{T_{cr}} = \frac{229.63}{346.788} = 0.662$$

$$P_{red} = \frac{P_a}{P_{cr}} = \frac{0.63}{43.455} = 0.014$$

$$Z_a = 1 - 0.4273 \cdot \frac{P_{red}}{(T_{red})^{3.66}}$$

$$Z_a = 1 - 0.4273 \cdot \frac{0.014}{(0.661)^{3.66}} = 0.99$$

$$T_{red} = \frac{T_r}{T_{cr}} = \frac{268.8}{346.788} = 0.775$$

$$P_{red} = \frac{P_r}{P_{cr}} = \frac{1.31}{43.455} = 0.030$$

$$Z_r = 1 - 0.4273 \cdot \frac{P_{red}}{(T_{red})^{3.66}}$$

$$Z_r = 1 - 0.4273 \cdot \frac{0.030}{(0.775) \cdot 3.66} = 0.99$$

$$Z_{moy} = \frac{Z_r + Z_a}{2} = 0.99$$

Travail adiabatique :

Le coefficient de compressibilité et la température T_a sont donnés par le constructeur dans le tableau IV.1 où $T_a = 229.63K$ et $Z = 0.99$.

$$W_{ad} = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a (\epsilon_1^{\frac{k-1}{k}} - 1)$$

$$W_{ad} = \left(\frac{1.123}{1.123-1} \right) \times 0.99 \times 0.208 \times 229.63 \times (2.079^{\frac{1.123-1}{1.123}} - 1)$$

$$W_{ad} = 36,03 \text{ [kJ/kg]}$$

Travail polytropique :

$$W_p = \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a (\epsilon_1^{\frac{n-1}{n}} - 1)$$

$$W_p = \left(\frac{1.274}{1.274-1} \right) \times 0.99 \times 0.208 \times 229.63 \times (2.079^{\frac{1.274-1}{1.274}} - 1)$$

$$W_p = 37,48 \text{ [kJ/kg]}$$

Travail réel :

$$W_r = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a (\epsilon_1^{\frac{n-1}{n}} - 1)$$

$$W_r = \left(\frac{1.123}{1.123-1} \right) \times 0.99 \times 0.208 \times 229.63 \times (2.079^{\frac{1.274-1}{1.274}} - 1)$$

$$W_r = 73,59 \text{ [kJ/kg]}$$

2^{ème} étage :

➤ Détermination de la constante spécifique du gaz :

$$r = \frac{R}{M} = \frac{8.314}{40.05} = 0.208$$

➤ Calcul des coefficients adiabatiques :

$$r = C_p - C_v$$

$$K = \frac{C_{p2}}{C_{p2} - r} = \frac{2.04}{2.04 - 0.208} = 1.114 \quad \Rightarrow \quad K = 1.114$$

➤ Taux de compression :

$$\epsilon_2 = 2.206.$$

➤ Coefficient polytropique :

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\log \epsilon_2}{\log \frac{T_r}{T_a}}$$

$$n = \frac{\log \epsilon_2}{\log \epsilon_2 - \log \left(\frac{T_r}{T_a} \right)}$$

$$n = \frac{\log 2.206}{\log 2.206 - \log \left(\frac{303.28}{268.8} \right)} = 1.18 \quad \Rightarrow \quad n = 1.18$$

➤ Le coefficient de compressibilité :

➤ **Aspiration :**

Température critique du mélange : $T_{cr} = \sum X_i \cdot T_{cri} \quad \Rightarrow \quad T_{cr} = 346,788$

Pression critique du mélange : $P_{cr} = \sum X_i \cdot P_{cri} \quad \Rightarrow \quad P_{cr} = 43,455$

$$T_{red} = \frac{T_a}{T_{cr}} = \frac{268.8}{346.788} = 0.775$$

$$P_{red} = \frac{P_a}{P_{cr}} = \frac{1.31}{43.455} = 0.030$$

$$Z_a = 1 - 0.4273 \cdot \frac{P_{red}}{(T_{red}) \cdot 3.66}$$

$$Z_a = 1 - 0.4273 \cdot \frac{0.030}{(0.775) \cdot 3.66} = 0.99$$

✓ **Refoulement :**

$$T_{red} = \frac{T_r}{T_{cr}} = \frac{303.28}{346.788} = 0.875$$

$$P_{red} = \frac{P_r}{P_{cr}} = \frac{2.89}{43.455} = 0.066$$

$$Z_r = 1 - 0.4273 \cdot \frac{P_{red}}{(T_{red}) \cdot 3.66}$$

$$Z_r = 1 - 0.4273 \cdot \frac{0.066}{(0.875) \cdot 3.66} = 0.99$$

$$Z_{moy} = \frac{Z_r + Z_a}{2} = 0.99$$

Travail adiabatique :

Le coefficient de compressibilité et la température T_a sont donnés par le constructeur dans le tableau IV.1 où $T_a = 268.8K$ et $Z = 0.99$.

$$W_{ad} = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a \left(\epsilon_2^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} - 1 \right)$$

$$W_{ad} = \left(\frac{1.114}{1.114-1} \right) \times 0.99 \times 0.208 \times 268.8 \times \left(2.206^{\left(\frac{1.114-1}{1.114} \right)} - 1 \right)$$

$$W_{ad} = 45.61 [kJ/kg]$$

Travail polytropique :

$$W_p = \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a \left(\epsilon_2^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} - 1 \right)$$

$$W_p = \left(\frac{1.18}{1.18-1} \right) \times 0.99 \times 0.208 \times 268.8 \times \left(2.206^{\left(\frac{1.18-1}{1.18} \right)} - 1 \right)$$

$$W_p = 46.54 [kJ/kg]$$

Travail réel :

$$W_r = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a \left(\epsilon_2^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} - 1 \right)$$

$$W_r = \left(\frac{1.114}{1.114-1} \right) \times 0.99 \times 0.208 \times 268.8 \times (2.206^{\left(\frac{1.18-1}{1.18} \right)} - 1)$$

$$W_r = 69.38 \text{ [kJ/kg]}$$

3^{ème} étage :

- Détermination de la constante spécifique du gaz :

$$r = \frac{R}{M} = \frac{8.314}{40.05} = 0.208$$

- Calcul des coefficients adiabatiques :

$$r = C_p - C_v$$

$$K = \frac{C_{p3}}{C_{p3}-r} = \frac{2.17}{2.17-0.208} = 1.106 \quad \Rightarrow \quad K=1.106$$

- Taux de compression :

$$\epsilon_3 = 2.875.$$

- Coefficient polytropique :

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\log \epsilon_3}{\log \frac{T_r}{T_a}}$$

$$n = \frac{\log \epsilon_3}{\log \epsilon_3 - \log \left(\frac{T_r}{T_a} \right)}$$

$$n = \frac{\log 2.875}{\log 2.875 - \log \left(\frac{337.83}{303.28} \right)} = 1.114 \quad \Rightarrow \quad n = 1.114$$

- **Aspiration :**

$$\text{Température critique du mélange : } T_{cr} = \sum X_i \cdot T_{cri} \quad \Rightarrow \quad T_{cr} = 346,788$$

$$\text{Pression critique du mélange : } P_{cr} = \sum X_i \cdot P_{cri} \quad \Rightarrow \quad P_{cr} = 43,455$$

$$d = \frac{T_a}{T_{cr}} = \frac{303.28}{346.788} = 0.875$$

$$P_{red} = \frac{P_a}{P_{cr}} = \frac{2.89}{43.455} = 0.067$$

$$Z_a = 1 - 0.4273 \cdot \frac{P_{red}}{(T_{red})^{3.66}}$$

$$Z_a = 1 - 0.4273 \cdot \frac{0.066}{(0.875)^{3.66}} = 0.99$$

- ✓ **Refoulement :**

$$T_{red} = \frac{T_r}{T_{cr}} = \frac{337.83}{346.788} = 0.974$$

$$P_{red} = \frac{P_r}{P_{cr}} = \frac{8.31}{43.455} = 0.191$$

$$Z_r = 1 - 0.4273 \cdot \frac{P_{red}}{(T_{red})^{3.66}}$$

$$Z_r = 1 - 0.4273 \cdot \frac{0.191}{(0.974) \cdot 3.66} = 0.97$$

$$Z_{moy} = \frac{Z_r + Z_a}{2} = 0.98$$

Travail adiabatique :

Le coefficient de compressibilité et la température Ta sont donnés par le constructeur dans le tableau IV.1 où Ta= 303.28K et Z = 0,98.

$$W_{ad} = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a \left(\epsilon_3^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} - 1 \right)$$

$$W_{ad} = \left(\frac{1.106}{1.106-1} \right) \times 0.98 \times 0.208 \times 303.28 \times (2.875^{\left(\frac{1.106-1}{1.106} \right)} - 1)$$

$$W_{ad} = 68.70[\text{kJ/kg}]$$

Travail polytropique :

$$W_p = \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a \left(\epsilon_3^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} - 1 \right)$$

$$W_p = \left(\frac{1.114}{1.114-1} \right) \times 0.98 \times 0.208 \times 303.28 \times (2.875^{\left(\frac{1.114-1}{1.114} \right)} - 1)$$

$$W_p = 68.94[\text{kJ/kg}]$$

Travail réel :

$$W_r = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot Z \cdot r \cdot T_a \left(\epsilon_3^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} - 1 \right)$$

$$W_r = \left(\frac{1.106}{1.106-1} \right) \times 0.98 \times 0.208 \times 303.28 \times (2.875^{\left(\frac{1.114-1}{1.114} \right)} - 1)$$

$$W_r = 73.61 [\text{kJ/kg}]$$

Les résultats précédents sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Résumer les résultats des trois étages.

Les étages	N	K	Z _{moy}	Ta [k]	ε	Wad [KJ/Kg]	Wp [KJ/Kg]	Wr [KJ/Kg]
Numéro 1	1,274	1.123	0.99	229.63	2.07 9	36.03	37.48	73.59
Numéro 2	1.18	1.114	0.99	268.8	2.20 6	45.61	46.54	69.38
Numéro 3	1.114	1.106	0.98	303.28	2.87 5	68.70	68.94	73.61

Le travail global du compresseur :

➤ Travail adiabatique :

$$W_{ad} = W_{ad1} + W_{ad2} + W_{ad3}$$

$$W_{ad} = 36.03 + 45.61 + 68.70 = 150.34[\text{kJ/kg}]$$

➤ Travail polytropique :

$$W_p = W_{p1} + W_{p2} + W_{p3}$$

$$W_p = 37.48 + 46.54 + 68.94 = 152.96 [\text{kJ/kg}]$$

➤ Travail réel :

$$W_r = W_{r1} + W_{r2} + W_{pr3}$$

$$W_r = 73.59 + 69.38 + 73.61 = 207.58 [\text{kJ/kg}]$$

Tableau IV.3 : Résumer les résultats des trois étages.

Travail adiabatique W_{ad}	Travail polytropique W_p	Travail réel W_r
150.34[kJ/kg]	152.96[kJ/kg]	207.58[kJ/kg]

IV.2.4 Calcul des pressions et températures intermédiaires :

Calcul des pressions intermédiaires :

Connaissant le taux de compression, on pourra calculer facilement les pressions intermédiaires par la formule suivante :

$$P_{i+1} = \zeta P_i$$

- P_i : pression dans les roués (i).
- P_{i+1} : pression dans les roués (i+1).
- ζ : taux de compression.

Avec : $\zeta = \sqrt[n]{\epsilon}$

$$(\epsilon_1 = 2.079, \epsilon_2 = 2.206, \epsilon_3 = 2.875)$$

$$\zeta_1 = \sqrt[n_1]{\epsilon_1} \Rightarrow \zeta_1 = \sqrt[1.263]{2.079} = 2.079.$$

$$\zeta_2 = 2.206$$

$$\zeta_3 = 2.875$$

Les résultats du calcul sont portés sur le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Pression intermédiaires dans les trois roues.

1 ^{ère} étage.		2 ^{ème} étage.		3 ^{ème} étage.	
$P_a [\text{bar}]$	$P_1 [\text{bar}]$	$P_a [\text{bar}]$	$P_2 [\text{bar}]$	$P_a [\text{bar}]$	$P_3 [\text{bar}]$
0.63	1.31	1.31	2.89	2.89	8.31

Calcul des températures intermédiaires :

$$\frac{T_{i+1}}{T_i} = \left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

- T_{i+1} : température dans les roués (i+1).
- T_i : température dans les roués (i).
- n : le coefficient polytropique . ($n_1 = 1.263$, $n_2 = 1.179$, $n_3 = 1.127$)

Les résultats de calcul sont portés sur le tableau IV.6 :

Tableau IV.6 : Température intermédiaires dans les trois roues (T_1, T_2, T_3).

1 ^{ère} étage.	2 ^{ème} étage.		3 ^{ème} étage.		
$T_a [K^\circ]$	$T_1 [K]$	$T_a [K]$	$T_2 [K]$	$T_a [K]$	$T_3 [K]$
229.63	268.78	268.8	303.26	303.28	337.87

4. Interprétation des résultats :

En utilisant les résultats des deux tableaux (IV.5) ; (IV.6), nous avons pu tracer la courbe ci-dessous, qui montre l'évolution de la température des roues au cours du processus d'augmentation de la pression du gaz.

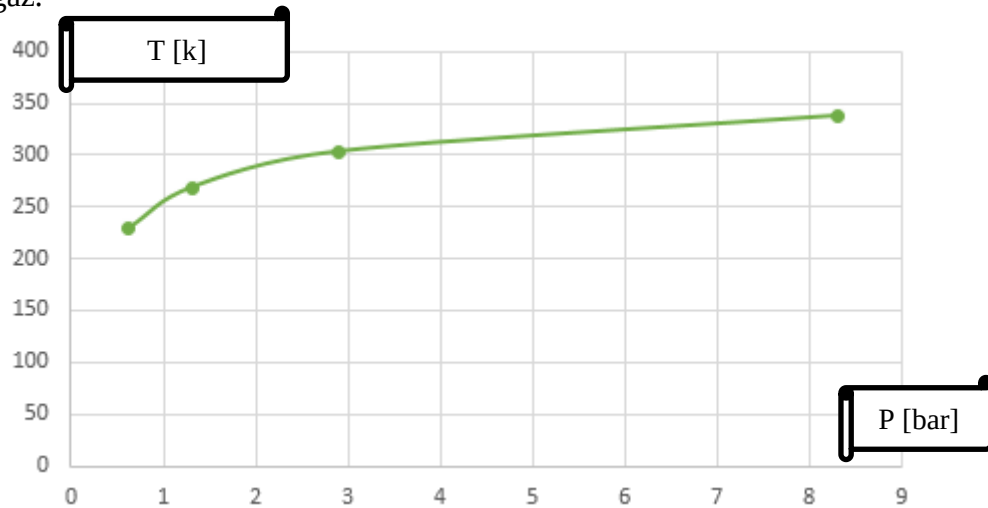


Figure IV.3 : Graphe de la température en fonction de la pression.

La thermodynamique prouve qu'une compression du gaz est accompagnée par une élévation de température, les résultats du tableau IV.5 et IV.6 la figure IV.3 nous a montré l'influence de pression sur la température dans chaque roue à chaque étage du compresseur.

IV.2.5. Calcul des rendements :

Rendement adiabatique :

$$\eta_a = \frac{W_a}{W_r}$$

$$\eta_a = \frac{150.34}{207.58} = 0.72$$

Rendement polytropique :

➤ 1^{ère} étage :

$$\eta_{p1} = \frac{W_{p1}}{W_{r1}}$$

$$\eta_{p1} = \frac{37.48}{73.59} = 0.51$$

➤ 2^{ème} étage

$$\eta_{p2} = \frac{W_{p2}}{W_{r2}}$$

$$\eta_{p2} = \frac{46.54}{69.38} = \mathbf{0.67}$$

➤ 3^{ème} étage

$$\eta_{p3} = \frac{W_{p3}}{W_{r3}}$$

$$\eta_{p3} = \frac{68.94}{73.61} = \mathbf{0.94}$$

➤ Le rendement adiabatique du compresseur :

$$\eta_{p3} = \frac{W_p}{W_r} = \frac{152.96}{207.58} = 0.74$$

Rendement global :

Le rendement mécanique du compresseur : $\eta_{méc} = 0.95$.

Le rendement volumétrique du compresseur : $\eta_{vol} = 0.98$.

$$\eta_g = \eta_{ad} \times \eta_{vol} \times \eta_{méc}$$

$$\eta_{méc} = (0.92 \div 0.96)$$

$$\eta_g = 0.72 \times 0.98 \times 0.95 = 0.67 \Rightarrow \eta_g = 67 \%$$

IV.2.6. Calcul de puissance : [17]

Les puissances transmises au gaz dans les étages :

• **1^{ère} Étage**

$$Pu_1 = Q_m \cdot W_{r1}$$

Où : Q_m : débit massique [Kg/s].

$$Pu_1 = \frac{15000}{3600} \times 73.59 = \mathbf{306.625 [KW]}.$$

• **2^{ème} Étage :**

$$Pu_2 = Q_m \cdot W_{r2}$$

Où : Q_m : débit massique [Kg/s].

$$Pu_2 = \frac{15000}{3600} \times 69.38 = \mathbf{289.08 [KW]}.$$

• **3^{ème} Étage :**

$$Pu_3 = Q_m \cdot W_{r3}$$

Où : Q_m : débit massique [Kg/s].

$$Pu_3 = \frac{15000}{3600} \times 73.61 = \mathbf{306.7 [KW]}.$$

$$\text{Donc : } Pu_{tot} = Pu_2 + Pu_3 + Pu_1$$

$$\mathbf{Pu_{tot} = 902.41 [KW]}$$

La puissance absorbée dans les étages :

➤ 1^{ère} Étage : $Na_1 = \frac{Pu_1}{\eta_{p1}} = \frac{306.625}{0.51} = 601.225 \text{ [KW]}$

➤ 2^{ème} Étage : $Na_2 = \frac{Pu_2}{\eta_{p2}} = \frac{289.08}{0.67} = 431.46 \text{ [KW]}$

➤ 3^{ème} Étage : $Na_3 = \frac{Pu_3}{\eta_{p3}} = \frac{306.7}{0.94} = 326.27 \text{ [KW]}$

➤ La puissance absorbée du compresseur : $Na_{tot} = \frac{Pu_{tot}}{\eta_p} = 1219.4 \text{ [KW]}$

IV.3. La simulation de compresseur Cooper 430/6101 D/E (HYSYS) :

IV.3.1. Définition de la simulation :

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique ou un système par un modèle mathématique ayant un comportement semblable. Autrement dit, la simulation permet de représenter par des modèles mathématiques les différents phénomènes de transfert de masse, d'énergie et de quantité de mouvement qui se produisent dans les différentes opérations unitaires

IV.3.2. Description du Logiciel Aspen HYSYS :

Aspen HYSYS est un logiciel complet de simulation de processus qui utilise des modèles thermodynamiques avancés et des solveurs d'équations pour simuler des processus chimiques et physiques complexes. Le logiciel est conçu pour être hautement flexible et personnalisable, permettant aux utilisateurs d'adapter leurs simulations à leurs besoins spécifiques.

IV.3.3. Aperçu sur le mode de fonctionnement de HYSYS :

Après la mise en démarrage de HYSYS, et cliquer sur la barre d'outils sous l'onglet « New » en a suivre les étapes suivantes (Les étapes de simulation) :

1. Les composants du gaz :

On Clique sur « add », une fenêtre s'affiche contient tous les composants chimiques avec leurs formules. On ajoute les éléments désirés par cliquer sur « add ». Puis on ferme cette fenêtre.

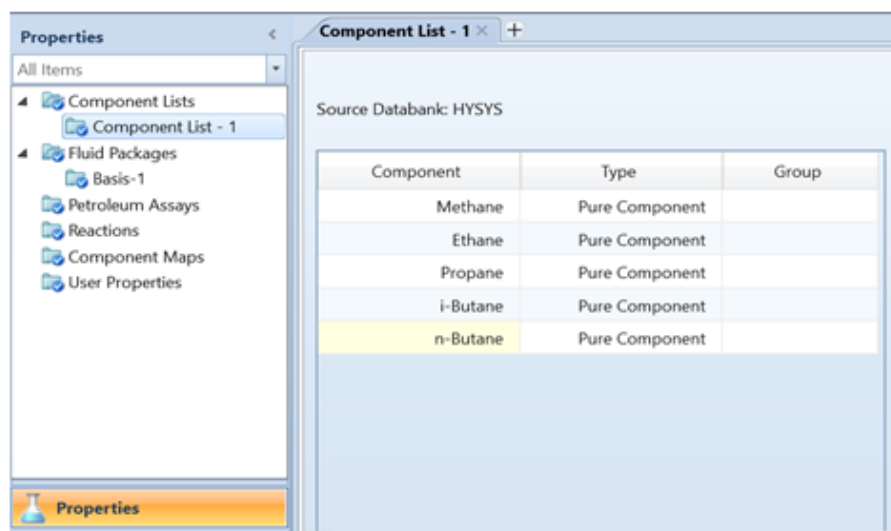


Figure IV.4 : Introduction des composants du gaz évaporé (HYSYS-Photo écran).

2. Choix du modèle thermodynamique :

Pour la simulation de notre compresseur, on a travaillé avec l'équation d'état de peng-robinson. Toujours on clique sur la commande « **fluid packages** », « **add** ». Puis on cherche et on clique sur « Peng-robinson ».

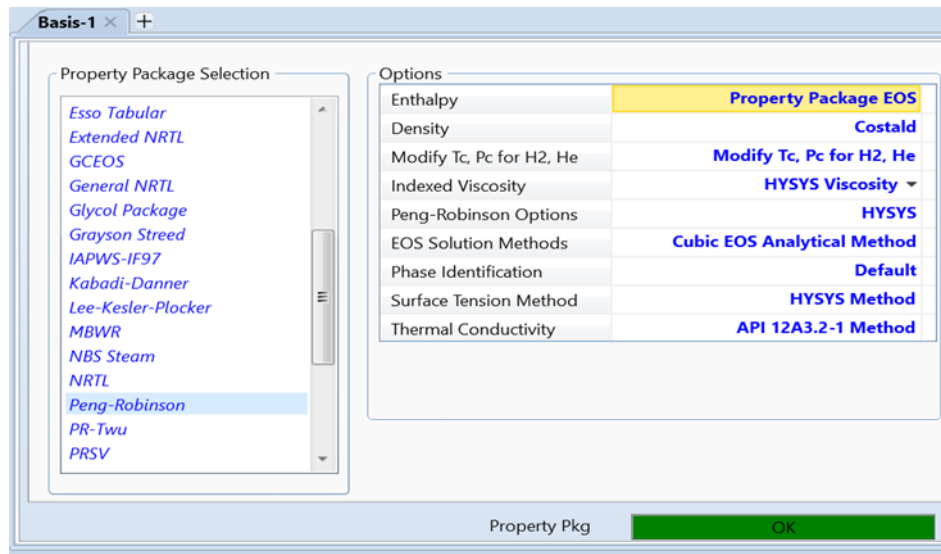


Figure IV.5 : Introduction du modèle thermodynamique (HYSYS-Photo écran)

3. On ferme cette fenêtre puis on va à la commande « simulation » pour installer notre compresseur.

4. Introduire le matériel de la simulation :

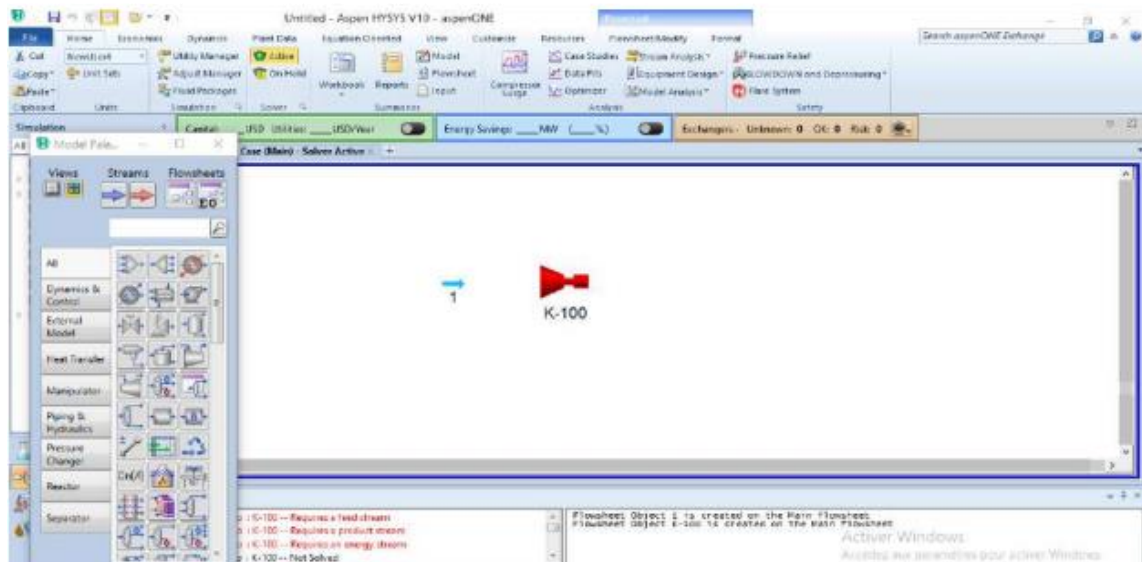


Figure IV.6 : Introduire le compresseur et les flèches d'entré (Streams)- (HYSYS-Photo écran).

5. Introduire la composition du gaz évaporé :

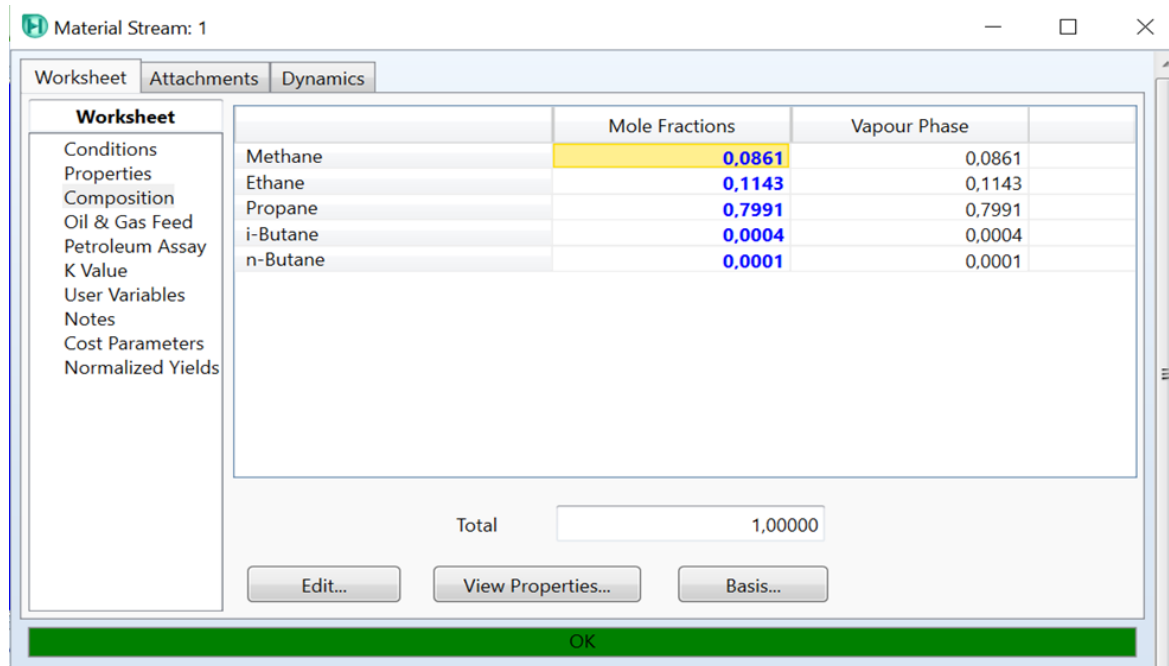


Figure IV.7 : Introduction des composants du gaz évaporé (HYSYS-Photo écran).

6. Les Paramètres d'entrée du compresseur :

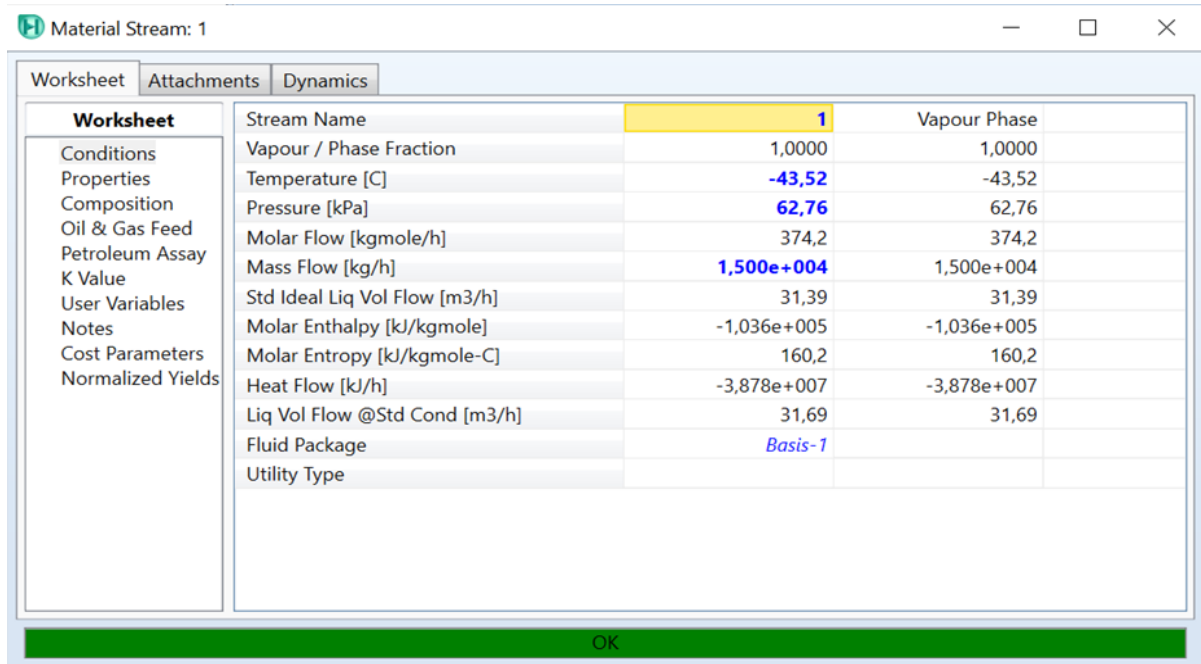


Figure IV.8 : Introduction du débit et de température et pression d'entrée du compresseur (HYSYS-Photo écran).

7. Faire la connections :

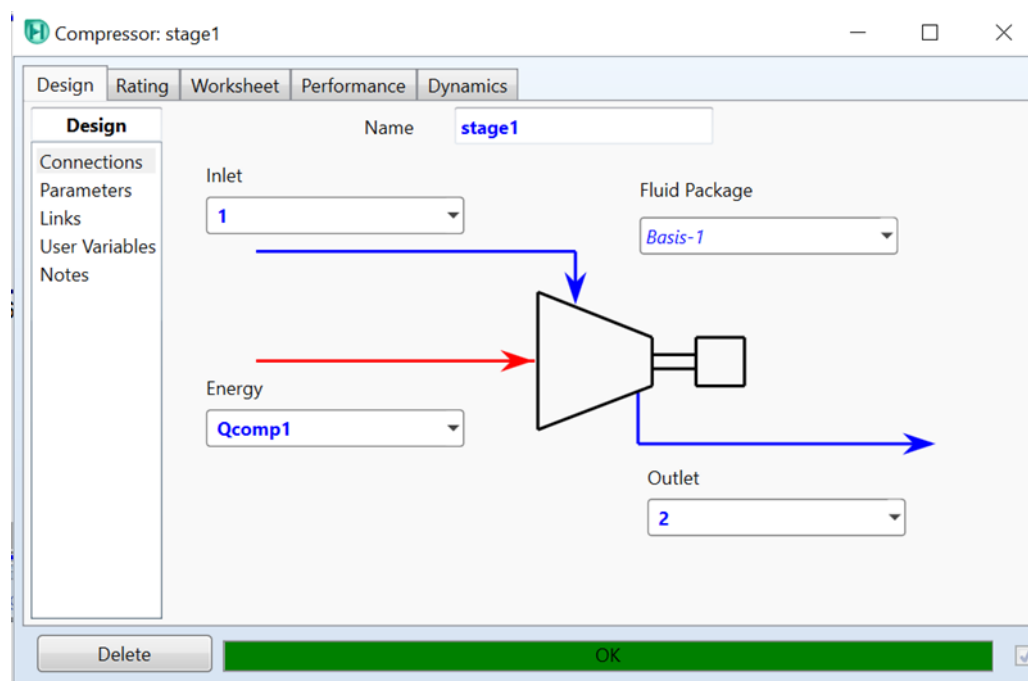


Figure IV.9 : Préciser l'entrée et sortie et l'énergie nécessaire pour le compresseur (HYSYS-Photo écran).



La même chose pour les autres équipements de la section BOG.

8. La fin de simulation :

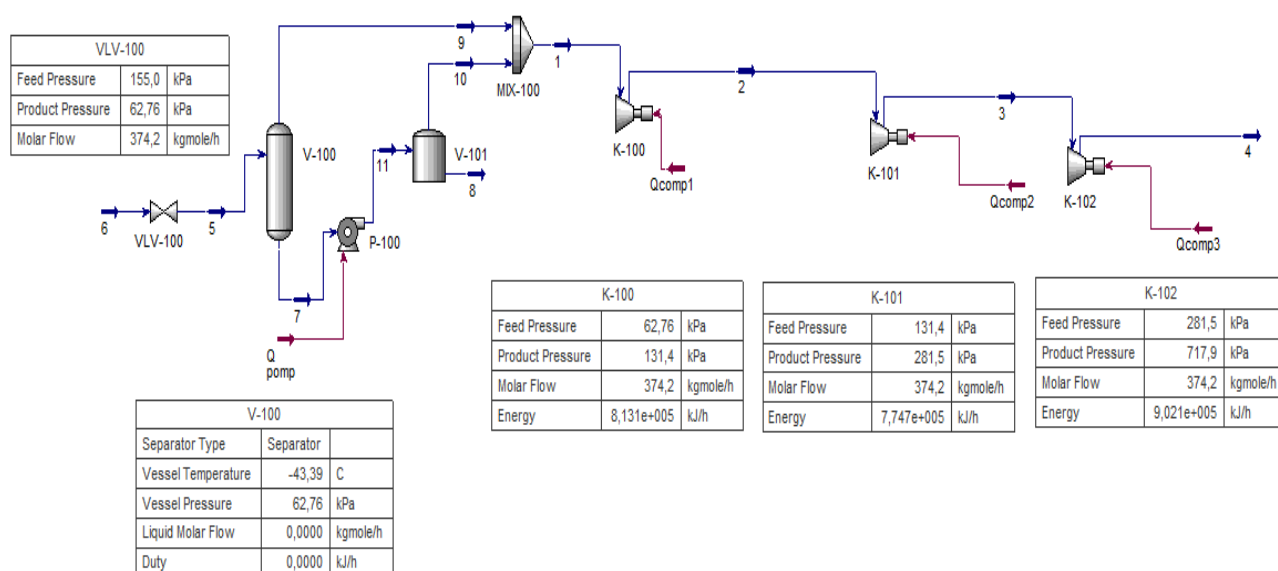


Figure IV.10 : Simulation du compresseur BOG.

IV.4. Interprétation des résultats :

IV.4.1. La Comparaison entre les résultats de calcul thermodynamique et les résultats de simulation HYSYS pour le compresseur :

Nous utilisons le tableau suivant pour la comparaison :

Tableau IV.7 : Tableau comparatif des résultats obtenus du calcul avec HYSYS.

1 ^{ère} Étage							
Les résultats du :	Coefficients adiabatiques K	Coefficient de compressibilité Z	Coefficient polytropique n	Travail adiabatique W_a [KJ/Kg]	Travail polytropique W_p [KJ/Kg]	T_r [K]	P_r [Bar]
Calcul thermodynamique	1.123	0.99	1.274	36.03	37.48	268.8	1.31
Simulation HYSYS	1.157	0.98	1.236	36.32	37.19	266.52	1.314
La différence	0.034	0.01	0.038	0.29	0.29	2.28	0.004
Ecart (%)	2.73%	1.02%	2.78%	0.79%	0.77%	0.74%	0.7%
2 ^{ème} Étage :							
Les résultats du :	Coefficients adiabatiques K	Coefficient de compressibilité Z	Coefficient polytropique n	Travail adiabatique W_a [KJ/Kg]	Travail polytropique W_p [KJ/Kg]	T_r [K]	P_r [Bar]
Calcul thermodynamique	1.114	0.99	1.180	45.61	46.54	303.28	2.890
Simulation HYSYS	1.239	0.97	1.154	42.87	43.28	299.51	2.815
La différence	0.125	0.02	0.026	2.74	3.26	3.77	0.075
Ecart (%)	0.76%	2.02%	2.2 %	6.00 %	7.00 %	1.24%	2.59%
3 ^{ème} Étage :							
Les résultats du :	Coefficients adiabatiques K	Coefficient de compressibilité Z	Coefficient polytropique n	Travail adiabatique W_a [KJ/Kg]	Travail polytropique W_p [KJ/Kg]	T_r [K]	P_r [Bar]
Calcul thermodynamique	1.106	0.98	1.114	68.70	68.94	337.83	8.310
Simulation HYSYS	1.125	0.95	1.097	58.33	58.44	337.23	7.179
La différence	0.019	0.03	0.017	10.37	10.5	0.6	1.131
Ecart (%)	1.68%	3.06%	1.52 %	15.09 %	15.23%	0.17%	13.61%

IV.4.2. La comparaison entre les résultats de calcul thermodynamique calculé et les caractéristiques techniques du compresseur :

Après avoir effectué le calcul thermodynamique en utilisant les données réelles du compresseur pendant son fonctionnement et vérifié leur exactitude, nous comparons les résultats de calcul obtenus avec les caractéristiques techniques du compresseur extraites du constructeur. Afin de garantir que le compresseur remplit bien son rôle particulier dans la section B.O.G., nous utilisons le tableau suivant à titre de comparaison :

Tableau IV.8 : Tableau comparatif entre les résultats des calculs thermodynamiques et caractéristiques techniques du fonctionnement normale de compresseur.

	Travail réel W_r [KJ/kg]	Rendement adiabatique η_{ad}	Rendement polytropique η_p	Rendement global η_g	Puissance transmise au gaz P_u [KW]	Puissance absorbée N_a [KW]
Les caractéristiques techniques du compresseur	209	0.78	0.79	0.72	870.83	1102.32
Les résultats du fonctionnement réel de compresseur	207.58	0.72	0.74	0.67	902.42	1219
La différence	1.42	0.06	0.05	0.05	31.59	116.68
Ecart (%)	0.68%	7.69%	6.32%	6.94%	3.50%	9.57%

IV.4.3-Interprétation des résultats :

- Après avoir comparé les résultats obtenus lors du calcul thermodynamique avec ceux de HYSYS (tableau IV.7), nous avons constaté une différence acceptable entre les deux ensembles de résultats, ce qui confirme la validité de la simulation que nous avons réalisée.
- En ce qui concerne les résultats du tableau IV.8, notre comparaison a révélé des résultats très satisfaisants. Nous avons observé que la plus grande différence en pourcentage est de 9.57 % lors de la comparaison des résultats du travail du compresseur sur le terrain avec ceux de son fonctionnement à l'état normal extraits des spécifications du constructeur. Cette différence relativement faible indique que le compresseur effectue son travail dans des conditions normales sans rencontrer de problèmes majeurs. Il est également important de noter que le compresseur remplit sa fonction de base, qui consiste à aspirer les vapeurs à une température et une pression d'environ - 44 °C et 0,6 bar, puis à les refouler à une température et une pression d'environ 60 °C et 8 bar, conformément aux spécifications du fabricant.

Conclusion Générale :

Ce travail démontre l'efficacité de notre étude pratique réalisée au sein du complexe GP2/Z, basée sur nos connaissances théoriques acquises à l'université M'Hamed Bougara. Notre thème de stage, "Récupération des gaz par un compresseur des gaz évaporés au niveau du bac de GPL au sein du complexe GP2/Z", est d'une grande importance pour le complexe, et notre travail a permis d'apporter des éclaircissements concrets à ce défi.

Tout d'abord, nous avons appliqué nos connaissances en thermodynamique à un problème réel : le calcul énergétique dans les compresseurs centrifuges. Cela nous a offert l'opportunité d'approfondir notre compréhension des compresseurs et d'élargir nos compétences dans l'utilisation du logiciel HYSYS, un outil essentiel dans l'industrie pétrolière.

Dans la première phase de notre étude, nous avons examiné le processus de récupération du propane évaporé à l'aide du compresseur Cooper BOG, ainsi que le processus de refroidissement et de retour du propane dans le bac de stockage. Cette phase a permis une compréhension approfondie du fonctionnement du système de récupération des gaz évaporés.

Dans la seconde phase, nous avons effectué le calcul thermodynamique du compresseur BOG. Cette analyse nous a permis de modéliser et d'évaluer précisément les performances du compresseur dans des conditions réelles.

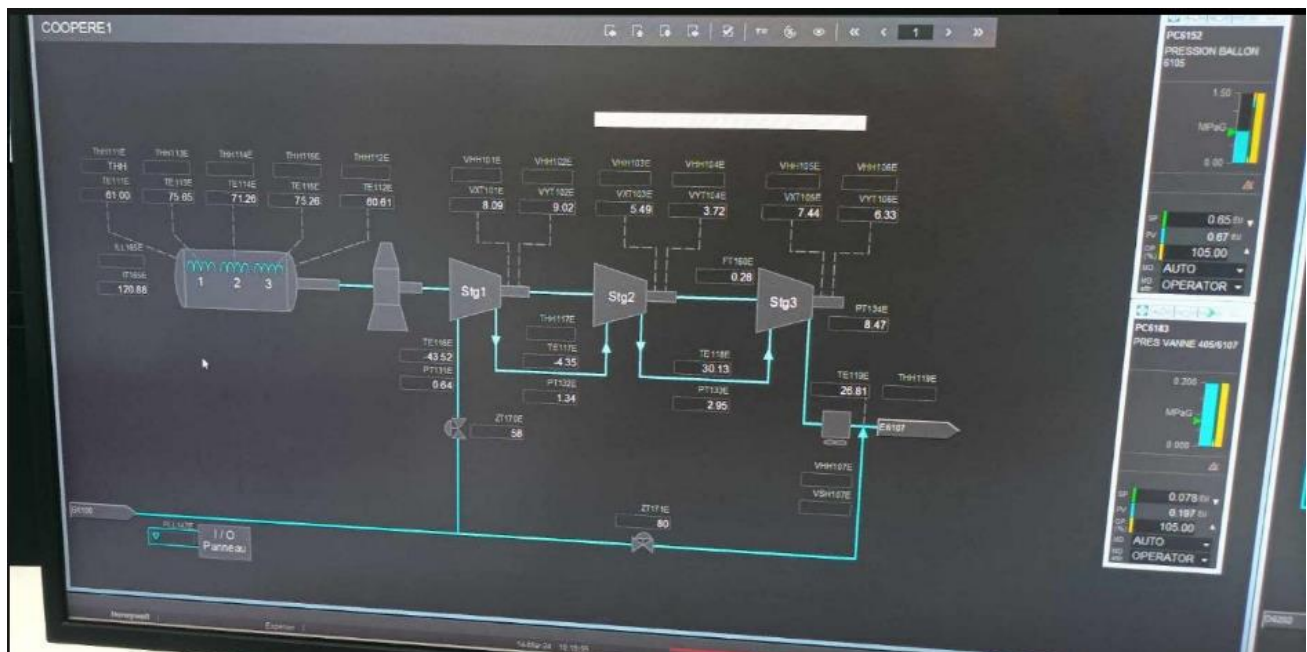
Enfin, nous avons réalisé une simulation du compresseur BOG à l'aide du logiciel HYSYS pour vérifier la précision de nos calculs. La comparaison des résultats obtenus avec les caractéristiques techniques du compresseur extraites du constructeur a révélé que les écarts étaient minimes, ne dépassant pas 9.57 %. Cela indique que le compresseur fonctionne efficacement dans des conditions normales.

En conclusion, cette étude pratique a été bénéfique à plusieurs égards. Elle nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les équipements utilisés dans l'industrie pétrolière algérienne, en particulier sur les compresseurs centrifuges. De plus, elle a démontré notre capacité à appliquer nos connaissances théoriques à des problèmes concrets, fournissant ainsi des solutions pratiques et efficaces aux défis rencontrés dans l'industrie.

Référence :

- [1] : Rapport du centre de formation de Hassi R'mel, Revue Sonatrach « Gaz naturel dans le monde » ; 2020 ; 25.
- [2] : Proceeding du séminaire sur le GPL, Développement promotion ; μμ Alger, Avril 2018 ; 3.
- [3] : Farouk BELKHERFI et Anouar BENRAMDANA, Etude de l'impact de méthanol comme inhibiteur de formation des hydrates (Unité GPL2/HMD) ; Master II en Génie du Raffinage, Université de Ouargla ; 2019 ; 5-6.
- [4] : Etude des fours tubulaires de l'unité GPL-1 à HASSI-MESSAOUD. Septembre 2015 ; 91P.
- [5] Hadj, Ali Djamel. Etude de la section de déshydratation de l'unité GPL-2 HASSIMESSAOUD. Aout 2005 ; 75P.
- [6] : Kaabouche, Boumedien. Description de la section de stockage de l'unité GPL-1 HASSI MESSAOUD. Novembre 2017 ; 38P.
- [7] : Benziad, Houssein. Réalisation d'une colonne de stabilisation du condensat au niveau de l'unité de traitement de gaz. 2008 ; 124P.
- [8] : Abbaci, Youcef. Calcul des paramètres de fonctionnement du dépropaniseur (Unité 38, Traitement du GPL) à HASSI-R'MEL. Juin 2012 ; 60P.
- [9] : BELHAOUARI DJAMEL, Rapport de fin de Formation et MSP Avant recrutement, 2017, 58P.
- [10] MANUEL D'EXPLOITATION COMPLEXE GP2/Z.
- [11] : BENZINA Souilla ET BETTAHAR Khalid, Etude de problème de friabilité des tamis moléculaire de la section de déshydratation au niveau du GP2/Z, 04/07/ 2019, 47p.
- [12] : Mr. AMARA Khaled et Mr. CHERIFI Mahfoud, ALGERIAN PETROLEUM INSTITUTE Estimations de la consommation énergétique et les pertes aux niveaux des deux complexes GP1/Z et GP2/Z d'Arzew Octobre 2010, P47
- [13]: SONATRACH activates Aval division LQS complexe GP2/Z, MANUEL D'EXPLOITATION, PROCESS OPERATING MANUAL - PRODUCTS STORAGE – LOADING - RECOVERY BOG, 120p;140p.
- [14] : Service manual HODEN [Gaz & refrigeration compressor],P39.
- [15]: HENNI MOHAMMED REDA, Formation compresseurs HOWDEN & COOPER, DIVISION LIQUEFACTION & SEPARATION Complexe GP2/Z, Date : 27/05/2012, Partie II Compresseurs centrifuges multi-étages Cooper 430/6101 E/F.
- [16] : KHIRANI BENAOUA, Formation filière des opérateurs stockage, de thème : Nouvelle Section B.O.G, (Les Compresseurs Cooper), Complexe GP2Z, DRH, Juillet 2008.
- [17] Mimoun O. cours thermodynamiques, université Abou Bakr BELKAID de Tlemcen Année 2013 - 2014.
- [18] techniques de l'ingénieur Calcul de constantes thermodynamiques.

ANNEXE :



Une photo du compresseur Cooper depuis la salle de contrôle pendant le fonctionnement

Compressor: stage1			
Design Rating Worksheet Performance Dynamics			
Worksheet	Name	1	2
Conditions	Molecular Weight	40.09	40.09
Properties	Molar Density (kgmole/m3)	3.345e-002	6.081e-002
Composition	Mass Density (kg/m3)	1.341	2.437
PF Specs	Act. Volume Flow (m3/h)	1.119e+004	6154
	Mass Enthalpy (kJ/kg)	-2585	-2531
	Mass Entropy (kJ/kg-C)	3.997	4.066
	Heat Capacity (kJ/kgmole-C)	57.96	64.46
	Mass Heat Capacity (kJ/kg-C)	1.446	1.608
	LHV Molar Basis (Std) (kJ/kgmole)	1.868e+006	1.868e+006
	HHV Molar Basis (Std) (kJ/kgmole)	2.020e+006	2.020e+006
	HHV Mass Basis (Std) (kJ/kg)	5.040e+004	5.040e+004
	CO2 Loading	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Mole Conc. (kgmole/m3)	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Wt. Conc. (kgmol/kg)	<empty>	<empty>
	LHV Mass Basis (Std) (kJ/kg)	4.660e+004	4.660e+004
	Phase Fraction (Vol. Basis)	1.000	1.000
	Phase Fraction (Mass Basis)	1.000	1.000
	Phase Fraction (Act. Vol. Basis)	1.000	1.000
	Mass Energy (kJ/kg)	-14.96	18.80
	Partial Pressure of CO2 (kPa)	0.0000	0.0000
	Cost Based on Flow (Cost/s)	0.0000	0.0000
	Act. Gas Flow (ACT_m3/h)	1.119e+004	6154
	Avg. Liq. Density (kgmole/m3)	11.92	11.92
	Specific Heat (kJ/kgmole-C)	57.96	64.46
	Std. Gas Flow (STD_m3/h)	8848	8848
	Std. Ideal Liq. Mass Density (kg/m3)	477.9	477.9
	Act. Liq. Flow (m3/s)	<empty>	<empty>
	Z Factor	0.9827	0.9753
	Watson K	15.25	15.25
	User Property	<empty>	<empty>
	Partial Pressure of H2S (kPa)	0.0000	0.0000
	Cp/(Cp - R)	1.167	1.148
	Cp/Cv	1.179	1.163
	Ideal Gas Cp/Cv	1.169	1.150
	Ideal Gas Cp (kJ/kgmole-C)	57.45	63.66
	Mass Ideal Gas Cp (kJ/kg-C)	1.433	1.588
	Heat of Vap. (kJ/kgmole)	2.371e+004	2.330e+004
	Kinematic Viscosity (cSt)	4.912	3.162
	Liq. Mass Density (Std. Cond) (kg/m3)	473.3	473.3
	Liq. Vol. Flow (Std. Cond) (m3/h)	31.69	31.69
	Liquid Fraction	0.0000	0.0000
	Molar Volume (m3/kgmole)	29.89	16.45
	Mass Heat of Vap. (kJ/kg)	591.6	581.2
	Phase Fraction (Molar Basis)	1.0000	1.0000
	Surface Tension (dyne/cm)	<empty>	<empty>
	Thermal Conductivity (W/m-K)	1.252e-002	1.600e-002
	Bubble Point Pressure (kPa)	912.4	1664
	Viscosity (cP)	6.587e-003	7.708e-003
	Cv (Semi-Ideal) (kJ/kgmole-C)	49.65	56.14
	Mass Cv (Semi-Ideal) (kJ/kg-C)	1.238	1.401
	Cv (kJ/kgmole-C)	49.18	55.43
	Mass Cv (kJ/kg-C)	1.227	1.383
	Cv (Ent. Method) (kJ/kgmole-C)	<empty>	<empty>
	Mass Cv (Ent. Method) (kJ/kg-C)	<empty>	<empty>
	Cp/Cv (Ent. Method)	<empty>	<empty>
	Reid VP at 37.8 C (kPa)	2160	2160
	True VP at 37.8 C (kPa)	3086	3086
	Liq. Vol. Flow - Sum(Std. Cond) (m3/h)	31.69	31.69
	Viscosity Index	-23.17	-43.81

Delete

OK

☒ On☐ Ignored

Compressor: stage2

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

Worksheet	Name	2	3
Conditions	Molecular Weight	40.09	40.09
Properties	Molar Density [kgmole/m3]	6.081e-002	0.1176
Composition	Mass Density [kg/m3]	2.437	4.714
PF Specs	Act. Volume Flow [m3/h]	6154	3182
	Mass Enthalpy [kJ/kg]	-2531	-2479
	Mass Entropy [kJ/kg-C]	4.066	4.095
	Heat Capacity [kJ/kgmole-C]	64.46	70.60
	Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]	1.608	1.761
	LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	1.868e+006	1.868e+006
	HHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	2.020e+006	2.020e+006
	HHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	5.040e+004	5.040e+004
	CO2 Loading	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Mole Conc. [kgmole/m3]	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Wt. Conc. [kgmol/kg]	<empty>	<empty>
	LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	4.660e+004	4.660e+004
	Phase Fraction [Vol. Basis]	1.000	1.000
	Phase Fraction [Mass Basis]	1.000	1.000
	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	1.000	1.000
	Mass Exergy [kJ/kg]	18.80	61.64
	Partial Pressure of CO2 [kPa]	0.0000	0.0000
	Cost Based on Flow [Cost/s]	0.0000	0.0000
	Act. Gas Flow [ACT_m3/h]	6154	3182
	Avg. Liq. Density [kgmole/m3]	11.92	11.92
	Specific Heat [kJ/kgmole-C]	64.46	70.60
	Std. Gas Flow [STD_m3/h]	8848	8848
	Std. Ideal Liq. Mass Density [kg/m3]	477.9	477.9
	Act. Liq. Flow [m3/s]	<empty>	<empty>
	Z Factor	0.9753	0.9611
	Watson K	15.25	15.25
	User Property	<empty>	<empty>
	Partial Pressure of H2S [kPa]	0.0000	0.0000
	Cp/(Cp - R)	1.148	1.133
	Cp/Cv	1.163	1.156
	Ideal Gas Cp/Cv	1.150	1.137
	Ideal Gas Cp [kJ/kgmole-C]	63.66	69.22
	Mass Ideal Gas Cp [kJ/kg-C]	1.588	1.727
	Heat of Vap. [kJ/kgmole]	2.330e+004	2.252e+004
	Kinematic Viscosity [cSt]	3.162	1.854
	Liq. Mass Density (Std. Cond) [kg/m3]	473.3	473.3
	Liq. Vol. Flow (Std. Cond) [m3/h]	31.69	31.69
	Liquid Fraction	0.0000	0.0000
	Molar Volume [m3/kgmole]	16.45	8.504
	Mass Heat of Vap. [kJ/kg]	581.2	561.7
	Phase Fraction [Molar Basis]	1.0000	1.0000
	Surface Tension [dyne/cm]	<empty>	<empty>
	Thermal Conductivity [W/m-K]	1.600e-002	1.949e-002
	Bubble Point Pressure [kPa]	1664	2656
	Viscosity [cP]	7.708e-003	8.741e-003
	Cv (Semi-Ideal) [kJ/kgmole-C]	56.14	62.29
	Mass Cv (Semi-Ideal) [kJ/kg-C]	1.401	1.554
	Cv [kJ/kgmole-C]	55.43	61.05
	Mass Cv [kJ/kg-C]	1.383	1.523
	Cv (Ent. Method) [kJ/kgmole-C]	<empty>	<empty>
	Mass Cv (Ent. Method) [kJ/kg-C]	<empty>	<empty>
	Cp/Cv (Ent. Method)	<empty>	<empty>
	Reid VP at 37.8 C [kPa]	2160	2160
	True VP at 37.8 C [kPa]	3086	3086
	Liq. Vol. Flow - Sum(Std. Cond) [m3/h]	31.69	31.69

Delete

OK

☒ On

☐ Ignored

Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics
Worksheet				
Conditions		Name	3	4
Properties		Molecular Weight	40.09	40.09
Composition		Molar Density [kgmole/m3]	0.1176	0.2759
PF Specs		Mass Density [kg/m3]	4.714	11.06
		Act. Volume Flow [m3/h]	3182	1356
		Mass Enthalpy [kJ/kg]	-2479	-2419
		Mass Entropy [kJ/kg-C]	4.095	4.101
		Heat Capacity [kJ/kgmole-C]	70.60	78.52
		Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]	1.761	1.959
		LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	1.868e+006	1.868e+006
		HHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	2.020e+006	2.020e+006
		HHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	5.040e+004	5.040e+004
		CO2 Loading	<empty>	<empty>
		CO2 Apparent Mole Conc. [kgmole/m3]	<empty>	<empty>
		CO2 Apparent Wt. Conc. [kgmol/kg]	<empty>	<empty>
		LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	4.660e+004	4.660e+004
		Phase Fraction [Vol. Basis]	1.000	1.000
		Phase Fraction [Mass Basis]	1.000	1.000
		Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	1.000	1.000
		Mass Exergy [kJ/kg]	61.64	120.2
		Partial Pressure of CO2 [kPa]	0.0000	0.0000
		Cost Based on Flow [Cost/s]	0.0000	0.0000
		Act. Gas Flow [ACT_m3/h]	3182	1356
		Avg. Liq. Density [kgmole/m3]	11.92	11.92
		Specific Heat [kJ/kgmole-C]	70.60	78.52
		Std. Gas Flow [STD_m3/h]	8848	8848
		Std. Ideal Liq. Mass Density [kg/m3]	477.9	477.9
		Act. Liq. Flow [m3/s]	<empty>	<empty>
		Z Factor	0.9611	0.9279
		Watson K	15.25	15.25
		User Property	<empty>	<empty>
		Partial Pressure of H2S [kPa]	0.0000	0.0000
		Cp/(Cp - R)	1.133	1.118
		Cp/Cv	1.156	1.162
		Ideal Gas Cp/Cv	1.137	1.124
		Ideal Gas Cp [kJ/kgmole-C]	69.22	75.56
		Mass Ideal Gas Cp [kJ/kg-C]	1.727	1.885
		Heat of Vap. [kJ/kgmole]	2.252e+004	2.055e+004
		Kinematic Viscosity [cSt]	1.854	0.9076
		Liq. Mass Density (Std. Cond) [kg/m3]	473.3	473.3
		Liq. Vol. Flow (Std. Cond) [m3/h]	31.69	31.69
		Liquid Fraction	0.0000	0.0000
		Molar Volume [m3/kgmole]	8.504	3.624
		Mass Heat of Vap. [kJ/kg]	561.7	512.6
		Phase Fraction [Molar Basis]	1.0000	1.0000
		Surface Tension [dyne/cm]	<empty>	<empty>
		Thermal Conductivity [W/m-K]	1.949e-002	2.404e-002
		Bubble Point Pressure [kPa]	2656	4248
		Viscosity [cP]	8.741e-003	1.004e-002
		Cv (Semi-Ideal) [kJ/kgmole-C]	62.29	70.20
		Mass Cv (Semi-Ideal) [kJ/kg-C]	1.554	1.751
		Cv [kJ/kgmole-C]	61.05	67.56
		Mass Cv [kJ/kg-C]	1.523	1.685
		Cv (Ent. Method) [kJ/kgmole-C]	<empty>	<empty>
		Mass Cv (Ent. Method) [kJ/kg-C]	<empty>	<empty>
		Cp/Cv (Ent. Method)	<empty>	<empty>
		Reid VP at 37.8 C [kPa]	2160	2160
		True VP at 37.8 C [kPa]	3086	3086
		Liq. Vol. Flow - Sum(Std. Cond) [m3/h]	31.69	31.69
		Viscosity Index	<empty>	-19.97
Delete OK ☒ On ☐ Ignored				

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

Performance

Results

Power

Results

Adiabatic Head [m]	3703
Polytropic Head [m]	3792
Adiabatic Fluid Head [kJ/kg]	36,32
Polytropic Fluid Head [kJ/kg]	37,19
Adiabatic Efficiency	67,000
Polytropic Efficiency	68,604
Power Consumed [kW]	225,9
Polytropic Head Factor	1,0010
Polytropic Exponent	1,2367
Isentropic Exponent	1,1476
Speed [rpm]	<empty>

Delete

OK

☒ On☐ Ignored

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

Performance

Results

Power

Results

Adiabatic Head [m]	4371
Polytropic Head [m]	4414
Adiabatic Fluid Head [kJ/kg]	42,87
Polytropic Fluid Head [kJ/kg]	43,28
Adiabatic Efficiency	83,000
Polytropic Efficiency	83,799
Power Consumed [kW]	215,2
Polytropic Head Factor	1,0012
Polytropic Exponent	1,1547
Isentropic Exponent	1,1226
Speed [rpm]	<empty>

Delete

OK

